



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# NÁVRH AUTOMATIZOVANÉHO PRACOVISTĚ NA OHÝBÁNÍ DÍLCŮ

PROJECT OF AUTOMATIZED SYSTEM FOR BENDING PARTS PRODUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. MICHAL HIRSCH

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. PAVEL RUMÍŠEK, CSc.

BRNO 2009

**Abstrakt**

Cílem této diplomové práce je řešení úkolu z průmyslové praxe, jenž spočívá v navržení pracoviště na ohýbání dílců s využitím průmyslových robotů a manipulátorů, zhodnocení a vzájemné porovnání navrhovaných variant, výběr neoptimálnější z nich a její následné rozpracování a ekonomické posouzení. Nedílnou součástí práce je také stručné shrnutí problematiky technologie ohýbání dílců, automatizace a technologického projektování.

**Klíčová slova**

Ohýbání, automatizace, ohýbaný dílec, robot, manipulátor.

**Abstract**

The aim of this thesis is to solve the problem from the industry, which consists of the design of workplace for bending parts using industrial robots and manipulators, appreciation and mutual comparison of the proposed alternates of solution of the problem, the choice of most of them, and the subsequent development and economic assessment. An integral part of work is also a brief summary of the issue of technology bending parts, automation and technological design.

**Key words**

Bending, automation, bended part, robot, manipulator.

**Bibliografická citace**

HIRSCH, M. *Návrh automatizovaného pracoviště na ohýbání dílců*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 84 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh automatizovaného pracoviště na ohýbání dílců vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....  
Jméno a příjmení diplomanta

**Poděkování**

Poděkování za obětavou spolupráci a poskytnutí cenných rad, potřebných údajů a podkladů patří Ing. Vlastislavu Martínkovi, panu Aleši Pokojovi, paní Haně Ratajové, doc. Ing. Pavlu Rumíškovi CSc., doc. Ing. Aleně Kocmanové, Ph.D, Ing. Jiřímu Luňáčkovi, Ph.D., MBA, panu Pavlu Novákovi, panu Zdeňku Váňovi a Ing. Karlu Čermákovi. Za pomoc a pochopení patří poděkování také mým rodičům.

## OBSAH

1	ÚVOD .....	10
1.1	Proč tato práce vznikla .....	10
1.2	Společnost Agrostroj Pelhřimov, a.s. ....	11
2	TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ .....	15
2.1	Technologie tváření obecně .....	15
2.1.1	Úvod .....	15
2.1.2	Rozdělení technologií tváření dle teploty tvářeného materiálu .....	15
2.1.3	Rozdělení technologií tváření dle počtu směrů, v nichž dochází k deformaci materiálu .....	16
2.1.4	Fyzikálně – metalurgické základy tváření .....	17
2.1.5	Zákony plastické deformace .....	17
2.1.6	Deformace v tvářeném tělese .....	18
2.1.7	Vliv plastické deformace na strukturu a vlastnosti materiálu .....	19
2.2	Technologie ohýbání .....	20
2.2.1	Úvod .....	20
2.2.2	Poloměr neutrální plochy .....	21
2.2.3	Rozvinutá délka dílce .....	21
2.2.4	Minimální poloměr ohybu $R_{min}$ .....	21
2.2.5	Maximální poloměr ohybu $R_{max}$ .....	22
2.2.6	Volný ohyb bez kalibrace, odpružení .....	22
2.2.7	Volný ohyb s kalibrací .....	24
2.2.8	Velikost ohýbací síly .....	24
2.2.9	Velikost ohýbací práce .....	25
2.2.10	Technologická doporučení pro ohýbání dílců .....	25
2.2.11	Faktory, na nichž zejména závisí přesnost ohýbání .....	25
2.3	Ohýbací nástroje .....	27
2.3.1	Charakteristika funkčních částí ohýbadel .....	27
2.3.2	Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí .....	27
2.3.3	Konstrukční řešení ohýbadel .....	27
2.3.4	Funkční části ohýbadel .....	28
2.3.5	Ohýbání na ohýbačkách .....	28
2.3.6	Ohýbání na ohraňovacích lisech .....	29
2.3.7	Typické materiály funkčních částí ohýbadel .....	29
3	AUTOMATIZACE .....	30
3.1	Úvod .....	30
3.1.1	Mechanizace .....	30
3.1.2	Automatizace .....	30
3.1.3	Automatizace manipulace .....	30
3.2	Manipulátory a průmyslové roboty .....	32
3.2.1	Rozdělení manipulátorů a průmyslových robotů .....	32
3.2.2	Blokové schéma průmyslového robotu .....	33
3.2.3	Kinematika průmyslového robotu .....	34
3.2.4	Druhy pracovních prostorů průmyslových robotů a manipulátorů .....	35
3.2.5	Přesnost manipulace .....	35
3.2.6	Pohony robotů .....	35

3.2.7	Převody používané v průmyslových robotech .....	36
3.2.8	Řízení průmyslových robotů a manipulátorů .....	37
3.2.9	Odměřování polohy průmyslových robotů a manipulátorů .....	37
4	TECHNOLOGICKÉ PROJEKTOVÁNÍ .....	39
4.1	Technologická projekce v rámci technické přípravy výroby a její úkoly ....	39
4.2	Postup sestavování návrhu .....	40
4.3	Výrobek a typ výroby .....	41
4.4	Základní způsoby rozmístění strojů a pracovišť .....	42
4.5	Projektování pracovišť .....	43
4.5.1	Definice technologického pracoviště .....	43
4.5.2	Využití ergonomie v projektování .....	43
4.5.3	Členění podlahové plochy útvarů průmyslové činnosti .....	43
4.5.4	Rozměrové řešení pracoviště .....	43
4.5.5	Osvětlení pracoviště .....	44
4.5.6	Bezpečnost práce na pracovišti .....	44
4.6	Způsob výběru vhodného řešení .....	45
4.6.1	Obecná kritéria pro volbu zařízení .....	45
4.6.2	Vymezení, hodnocení a výběr variant .....	45
4.6.3	Stanovení stupně splnění vytýčených cílů při realizaci jednotlivých variant .....	46
4.7	Kapacitní propočet pro potřeby této práce .....	47
4.7.1	Způsob propočtu .....	47
4.7.2	Pracnost .....	47
4.7.3	Roční časový fond .....	47
4.7.4	Potřebný počet výrobních zařízení, pracovníků .....	47
4.7.5	Využití zařízení .....	47
4.8	Ekonomické hodnocení investice .....	49
4.8.1	Úvod .....	49
4.8.2	Současná hodnota očekávaných výnosů .....	49
4.8.3	Hodnocení efektivnosti investice metodou výnosnosti investic .....	49
4.8.4	Hodnocení efektivnosti investice metodou doby splácení .....	49
4.8.5	Hodnocení efektivnosti investice metodou čisté současné hodnoty .....	50
4.8.6	Hodnocení efektivnosti investice metodou vnitřního výnosového procenta .....	50
5	ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY OHÝBANÝCH DÍLCŮ .....	52
6	ZVAŽOVANÉ VARIANTNÍ NÁVRHY .....	55
6.1	Úvod .....	55
6.2	Ekonomická varianta – Dalmecc Partner .....	56
6.2.1	Základní popis zařízení .....	56
6.2.2	Popis funkce zařízení .....	56
6.2.3	Parametry zařízení .....	57
6.2.4	Úchopné zařízení .....	58
6.2.5	Investiční náklady .....	58
6.3	Plně automatizovaná varianta – ohraňovací robot Antil APR50L .....	59
6.3.1	Základní popis zařízení .....	59
6.3.2	Popis funkce zařízení .....	59
6.3.3	Parametry zařízení .....	59
6.3.4	Investiční náklady .....	60

6.4 Plně automatizovaná varianta – ohraňovací robot Trumpf BendMaster s ohraňovacím lisem Trumpf TruBend 5230 .....	61
6.4.1 Základní popis zařízení .....	61
6.4.2 Popis funkce zařízení .....	61
6.4.3 Parametry zařízení .....	62
6.4.4 Investiční náklady .....	64
6.5 Shrnutí .....	65
7 VYHODNOCENÍ VARIANTNÍCH NÁVRHŮ S VÝBĚREM OPTIMÁLNÍ VARIANTY .....	66
7.1 Způsob výběru optimální varianty .....	66
7.2 Kritéria pro výběr optimální varianty .....	66
7.3 Kvantitativní vyjádření míry plnění jednotlivých kritérií .....	67
7.4 Váhové hodnocení variant .....	68
7.5 Grafické vyjádření výsledků váhového hodnocení .....	69
7.6 Zhodnocení výsledků váhového hodnocení a výběr optimální varianty ....	70
8 KAPACITNÍ PROPOČET .....	71
8.1 Roční časový efektivní fond .....	71
8.2 Potřebný roční časový fond .....	71
8.2.1 Výpočet kusových časů .....	71
8.3 Potřebný počet pracovišť .....	72
9 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ INVESTICE .....	73
9.1 Základní podmínky zahrnuté do ekonomického hodnocení .....	73
9.2 Struktura jednotlivých nákladových položek .....	73
9.2.1 Roční náklady na materiál .....	73
9.2.2 Roční výše mzdových nákladů obsluhujících pracovníků .....	74
9.2.3 Roční ostatní přímé náklady .....	74
9.2.4 Roční provozní režie .....	74
9.2.5 Roční vlastní náklady výroby .....	75
9.2.6 Roční správní a odbytová režie .....	75
9.2.7 Roční zásobovací režie .....	75
9.2.8 Roční úplné vlastní náklady výkonu .....	75
9.3 Roční zisk a roční zdaněný zisk – očekávaný roční výnos z investice ....	75
9.4 Současná hodnota očekávaných výnosů v jednotlivých letech .....	76
9.5 Celková současná hodnota očekávaných výnosů investice .....	77
9.6 Čistá současná hodnota investice .....	77
9.7 Shrnutí ekonomického hodnocení .....	78
10 ZÁVĚR .....	79
11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	80
12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	82
13 SEZNAM PŘÍLOH .....	84

# 1 ÚVOD

## 1.1 Proč tato práce vznikla

Lze říci, že vše, co lidstvo obklopuje, má původ v činnosti přírody nebo v činnosti lidstva samotného, přičemž vždy platí, že věci, jejichž původcem je člověk, mají opět vždy materiální původ v přírodě. Aby však byl dnešní člověk schopen přetvářet přírodní materiály v konečné produkty, neobejde se bez použití více či méně složitých strojů. Proto je pro lidstvo životně důležitý strojírenský průmysl.

Existují různé způsoby, jak ve strojírenství za vzájemné interakce nástrojů, strojů a procesů z původního materiálu vyrobit požadovaný konečný produkt. Tyto způsoby se nazývají technologie. Každá z nich má své výhody a nevýhody a každá je v určitých ohledech nezastupitelná, v některých případech je ale vzájemně zaměňovat lze, existuje-li k tomu racionální důvod, například úspora materiálu, energie nebo lidské práce a tedy v konečném důsledku nákladů na výrobu. Je účelné volit vždy takovou technologii, jež při nejnižších možných celkových nákladech poskytuje konečný produkt v požadovaném čase a kvalitě. Cílem výrobce bývá maximální zisk. Při těchto úvahách by se ale nemělo zapomínat, že vhodně zvolená technologie je ta, která je environmentálně a společensky přijatelná. To znamená, že minimálním možným způsobem negativně působí na životní prostředí a splňuje požadavky na bezpečnost práce i ostatní závazné normy.

Zavádění nových progresivních technologií umožňuje v podmínkách tržní ekonomiky zvyšovat nadále produktivitu práce, přispívat k vyšší kvalitě produkce, snižovat výrobní náklady při respektování ekologických aspektů výroby.

Ekonomického zlepšení, tedy snížení nákladů lze dosáhnout například zvýšením přesnosti výrobního procesu tak, aby součást vyžadovala minimum dokončovacích operací, odstraněním ruční práce z výrobního procesu nahrazením vhodnými mechanizačními a automatizačními prostředky nebo integrací více technologických operací na jedno pracoviště.

[2]

Základní technologie používané ve strojírenském průmyslu jsou tyto:

- obrábění,
- svařování,
- povrchové úpravy,
- slévárství,
- dělení materiálu,
- tváření.

Poslední jmenované, tedy technologii tváření, je věnována tato diplomová práce. Zabývá se možnostmi zefektivnění ohýbacího procesu na pracovišti s ohraňovacím lisem za využití prvků z oblasti automatizace a mechanizace, přičemž výstupem má být výběr optimální varianty ze skupiny zvažovaných variantních návrhů a její podrobné zpracování do podoby technologického projektu, což zahrnuje kapacitní propočet, ekonomické



hodnocení navrhované investice a výkresovou dokumentaci včetně zhodnocení materiálových toků.

Navrhováním nových pracovišť a jejich úprav se zabývá technologická projekce, o níž pojednává samostatná kapitola literární studie.

Požadavek na návrh nového pracoviště na ohýbání dílců vznikl ve společnosti Agrostroj Pelhřimov, a.s.. Tato společnost je mimo jiné největším výrobcem zemědělských strojů v České republice, v poslední době se zaměřuje zejména na kooperační výrobu. Kromě zemědělské techniky v tomto podniku vzniká řada dílů pro výrobce nákladních automobilů, či stavební a manipulační techniky.

V takové výrobě je často nutné vyrábět poměrně rozměrné dílce s vysokou hmotností. Manipulace s nimi je pochopitelně pro pracovníky značně obtížná. Nalézt na trhu práce dostatečně inteligentního a zároveň fyzicky dobře vybaveného dělníka, který je ochoten pracovat s těžkými dílci, je často nemožné.

Podle přílohy č. 5 části C nařízení vlády č. 178/2001Sb. a dále dle nařízení vlády č.523/2002Sb. a 441/2004Sb., novelizovaných v prosinci 2007 smí pracovník mužského pohlaví pravidelně zvedat břemeno o maximální hmotnosti 30 kg, v souhrnu však nejvíce 10000 kg v průběhu pracovní doby. U žen se tato čísla snižují na 15 kg na dílec respektive 6500 kg souhrnně za pracovní dobu. To znamená, že vyrobit klasickým způsobem dílec s vyšší hmotností je při ruční manipulaci problematické.

Stejně tak nelze za použití ruční manipulace ohýbat plechy velkých rozměrů, neboť často dochází k lámání materiálu a vzniku pohledových vad. Pracovník totiž v takovém případě není schopen dostatečným způsobem ručně plech během ohybu podepírat. Tento problém je sice řešitelný pohyblivými programovatelnými podpěrami, čímž dojde k odstranění vad, nicméně manipulace s rozměrným plechem je i nadále komplikovaná a pro pracovníka složitá. Použitím vhodného manipulátoru nebo průmyslového robotu lze tyto komplikace buď částečně eliminovat nebo zcela odstranit.

Velmi významným důvodem pro zavádění automatizovaných pracovišť do výroby je významné zvýšení kvality produkce eliminací lidského činitele z výrobního procesu. Při využití lidské pracovní síly je riziko vzniku zmetků značně větší.

V neposlední řadě je třeba mít na mysli také značné zvýšení produktivity při využití automatizace, zejména při velkých výrobních dávkách. Výrobní časy se při ruční práci v průběhu pracovní doby prodlužují z důvodu namáhavosti práce, navíc člověk na rozdíl stroje potřebuje přestávky.

Automatizace s sebou přináší také jistou možnost zavedení vícestrojové obsluhy.

## 1.2 Společnost Agrostroj Pelhřimov, a.s.

Jak již bylo řečeno výše, požadavek na vypracování této diplomové práce vznikl ve společnosti Agrostroj Pelhřimov, a.s., foto podniku viz obr.1.1., což je dnes největší výrobce zemědělských strojů v České republice. Agrostroj je akciovou společností bez podílu státu a zahraničního kapitálu. V současné době dosahuje se svými 1300 zaměstnanci (89 % z nich přímo ve výrobě)

ročního obrátu ve výši 75000000 EUR, při dosavadním průměrném ročním růstu 5 %.

Výrobní program tvoří vlastní finální stroje, nástrojařská výroba a kooperace pro významné nadnárodní společnosti v oboru zemědělské techniky, výrobce nákladních automobilů, stavebních strojů a vysokozdvizných vozíků. Dodávky montážních celků v rámci kooperací tvoří cca 70 % objemu výroby. Vzhledem k rychlému postupu globalizace lze do budoucna předpokládat jejich další rozšiřování při vyhraněnější specializaci a při vyšší účasti na společném vývoji nových výrobků.

Potvrzením kvality výroby je certifikát ISO 9001:2000 i zařazení jako "dodavatel třídy A" v hodnoceních vystavených zahraničními partnerskými firmami.

Náročné projekty, přísné požadavky odběratelů a rozšiřování výroby si vyžádaly i důkladnou modernizaci stávajících zařízení a nákup nových progresivních technologií. Tyto nové technologie jsou i velmi šetrné k životnímu prostředí. Agrostroj se tak s předstihem připravil na provedení ekologického auditu a získal certifikát podle evropských norem ISO řady 14 001:20004.

Rozvoj společnosti byl v posledních letech intenzivní. V roce 2005 byla dokončena nová montážní hala s osmi 100-metrovými montážními linkami a v roce 2006 výrobní hala o ploše 10.000 m<sup>2</sup>. V říjnu 2006 byla také uvedena do provozu nová lakovna Eisenmann.

96% zaměstnanců má alespoň středoškolské vzdělání. Je plánováno vybudování školicího střediska, které by dalo nejnovější teoretické a pracovní zkušenosti studentům a novým zaměstnancům předtím, než vstoupí do praxe.

[16]

Pozn.: Výše uvedené údaje jsou platné k lednu 2009.



Obr. 1.1 Pohled na Agrostroj Pelhřimov, a.s.

**Historie společnosti v bodech:****1896**

Založení zámečníkem Janem Matějkou, výroba jednoduchých zemědělských strojů.

**1948**

S nástupem komunistického režimu byla továrna znárodněna a postupně začleněna do národního podniku Agrostroj.

**50. léta**

Strojírenství se stalo prioritním odvětvím podniku, výrazně vzrostl export.

**60. léta**

Do výrobního programu byla zařazena dnes již legendární rozmetadla chlévské mrvy originální koncepce.

**1968**

Byl vyroben první rotační žací stroj ZTR dle holandské licence.

**80. léta**

Závod Pelhřimov se s dalšími pěti pobočnými závody stal součástí státního koncernu AGROZET, ten se v roce 1989 rozpadl.

**1990**

Byla založena akciová společnost s původním názvem Agrostroj Pelhřimov.

**1998**

Začátek restrukturalizace podniku a začátek jeho modernizace.

[16]

## LITERÁRNÍ STUDIE

## 2 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ

### 2.1 Technologie tváření obecně

#### 2.1.1 Úvod

Tváření je výrobní proces, při němž je požadovaný tvar výrobku dosažen působením vnějších sil. Podstata této technologie tkví v dosažení plastické deformace materiálu, k čemuž je nutné dosáhnout napětí v daném materiálu alespoň na mezi kluzu. [18]

Technologie tváření patří do oblasti beztržiskových technologií. Tvářením se zhotovují polotovary určené k dalšímu zpracování, ale i hotové výrobky. Jde o ekonomicky efektivní technologii, která se uplatňuje převážně v sériové a hromadné výrobě. [2]

#### Hlavní výhody technologie tváření:

- vysoká produktivita,
- využití materiálu,
- rozměrová přesnost výrobků.

#### Hlavní nevýhody technologie tváření:

- cena strojů a nástrojů,
- omezení rozměrů výrobku.

[18]

#### 2.1.2 Rozdělení technologií tváření dle teploty tvářeného materiálu

Rozdělení technologií tváření podle teploty tvářeného materiálu je následující:

##### ■ tváření za studena

Jde o tváření pod rekrytalizační teplotou materiálu (přibližně pod 30% teploty tání), dochází ke zpevňování materiálu a deformaci zrn ve směru tváření (vzniká tzv. textura). Roste mez pevnosti a mez kluzu, klesá tažnost. Dosažené rozměry jsou přesné, povrch kvalitní, dochází však k nerovnoměrnému zpevňování materiálu a je nutné používat velké tvářecí síly.

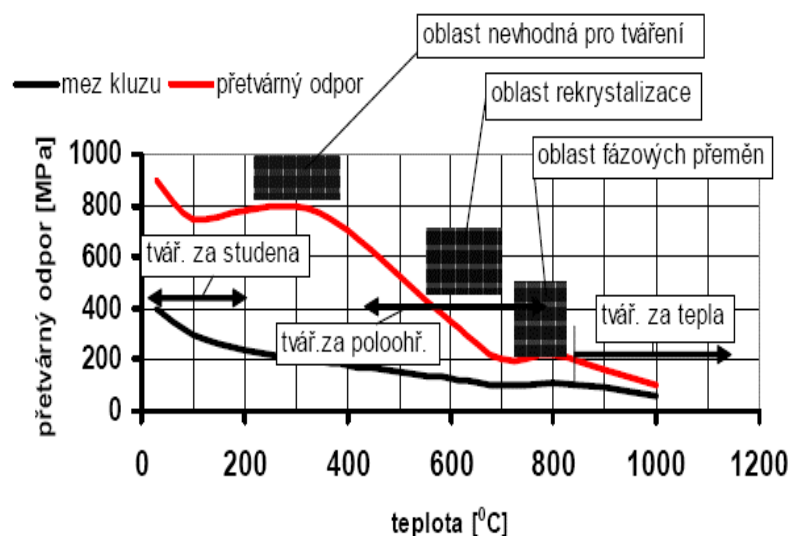
##### ■ tváření za tepla

Teplota materiálu se pohybuje nad rekrytalizační teplotou (přibližně nad 70% teploty tání). Materiál nezpevňuje a tak jsou potřebné tvářecí síly asi desetkrát nižší než při tváření za studena. Textura nevzniká, nevýhodou je však nekvalitní okujený povrch dílce.

##### ■ tváření za poloohřevu

Kompromis mezi tvářením za tepla a tvářením za studena. Teploty tvářeného materiálu se pohybují v pásmu začínajícím těsně pod rekrytalizační oblastí.

[18]



Obr. 2.1 Obecná závislost mechanických vlastností tvářených ocelí na teplotě [18]

### 2.1.3 Rozdělení technologií tváření dle počtu směrů, v nichž dochází k deformaci materiálu

Rozdělení technologií tváření podle počtu směrů, v nichž dochází k deformaci materiálu:

#### ■ tváření objemové

Dochází k trojosé napjatosti a k deformaci ve směru všech tří os kartézského souřadného systému.

Mezi technologie objemového tváření patří zejména:

- ražení (tváření za studena),
- pěchování (tváření za studena),
- protlačování (tváření za studena),
- volné kování (tváření za tepla),
- zápuskové kování (tváření za tepla),
- tažení,
- válcování.

#### ■ Tváření plošné

Převládají deformace ve dvou směrech souřadného systému zatímco ve třetím je zanedbatelná.

Mezi technologie plošného tváření patří zejména:

- stříhání,
- ohýbání (ohyb, profilování, lemování, stáčení),

- tažení (hluboké tažení, vypínání, kovotlačení, protahování, přetahování),
- tvarování (rovnání, zužování, rozšiřování).

[2]

#### 2.1.4 Fyzikálně – metalurgické základy tváření

Těleso mění svůj tvar při uvedení do plastického stavu působením vnějších sil. Jejich účinkem vzniká v tělese napětí, neboť vnitřní síly brání změně tvaru. Při nízkých hodnotách vnějších sil je deformace pouze pružná (elastická) a platí pro ni Hookův zákon. Po odlehčení deformace zaniká a těleso nabývá původního tvaru. Jsou-li vnější síly dostatečně veliké, nastává deformace stálá (plastická).

Elastická a plastická deformace se při zatížení vnějšími silami vyskytují současně. Po odlehčení elastická deformace zaniká a dochází k odpružení.

Fyzikální vlastnost kovů umožňující jejich plastickou deformaci se nazývá plasticita. Plastická deformace krystalických materiálů se uskutečňuje pohybem dislokací a to buď skluzem či dvojčatěním. Skluz se uskutečňuje posuvem dislokací ve skluzových rovinách krystalu, což jsou zpravidla krystalografické roviny s nejhustším uspořádáním atomů. Při dvojčatěním dochází k náhlému přeskupení celé krystalové mřížky v některé části krystalu tak, že původní a přeskupená krystalová mřížka jsou symetrické vzhledem k rovině dvojčatění. Deformace dvojčatěním jsou pouze malé, ale doprovází je velké zpevnění.

U polykrystalických materiálů se vyskytuje i jiný mechanismus plastické deformace spočívající ve vzájemném pohybu a natáčení zrn. Tímto způsobem lze za určitých podmínek (teplota, rychlost deformace) dosáhnout vysokého stupně deformace.

[2]

#### 2.1.5 Zákony plastické deformace

Zákony plastické deformace jsou následující:

■ zákon stálosti objemu

Je založen na předpokladu nestlačitelnosti kovů při plastické deformaci kovů.

■ zákon nejmenšího odporu

Každý element tvářeného tělesa se pohybuje ve směru nejmenšího odporu.

■ zákon přídavných napětí a nerovnoměrné deformace

Při tváření jsou napětí a tedy i deformace rozloženy nerovnoměrně. Nerovnoměrnost je způsobena především třením na styčných plochách materiálu s nástrojem, nehomogenitou vlastností materiálu, jeho tvarem a rozměry atd.

■ zákon podobnosti

Na základě studia tvářecích pochodů v modelových podmínkách lze usuzovat na odpovídající parametry při reálném tvářecím procesu.

[2]

### 2.1.6 Deformace v tvářeném tělese

Rozměrové změny při tváření se v technické praxi nejčastěji vyjadřují pomocí absolutní deformace, poměrné deformace, redukce a skutečné (logaritmické) deformace s přihlédnutím k rychlosti deformace. [2]

■ absolutní deformace  $\Delta l$  – absolutní změna určitého rozměru

Absolutní deformace  $\Delta l$  [2]:

$$\Delta l = l_0 - l_1 \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

kde

$l_0$       délka před deformací [mm],  
 $l_1$       délka po deformaci [mm].

■ poměrná deformace  $\varepsilon$  – poměr absolutní deformace a původního rozměru

Poměrná deformace  $\varepsilon$  [2]:

$$\varepsilon = \Delta l / l_0 \text{ [-]} \quad (2.2)$$

kde

$\Delta l$       absolutní deformace [mm],  
 $l_0$       délka před deformací [mm].

■ redukce  $R$  – poměrná deformace vyjádřená v procentech

Redukce  $R$  [2]:

$$R = \varepsilon \cdot 100\% \text{ [%]} \quad (2.3)$$

kde

$\varepsilon$       absolutní deformace [-].

■ skutečná (logaritmická) deformace  $\varphi$

Skutečná deformace  $\varphi$  [2]:

$$\varphi = \ln l_1 / l_0 \text{ [-]} \quad (2.4)$$

kde

$\Delta l$       absolutní deformace [mm],  
 $l_0$       délka před deformací [mm].

■ rychlost deformace (poměrná rychlost tváření)  $R_d$  – Rychlost, s níž se přibližují dva průřezy tvářeného polotovaru.



Rychlost deformace  $R_d$  [2]:

$$R_d = d\varepsilon / dt = d\varphi / dt \quad [1/s] \quad (2.5)$$

kde

$d\varepsilon$  změna poměrné deformace [-],

$d\varphi$  změna skutečné deformace [-],

$dt$  změna času [s].

### 2.1.7 Vliv plastické deformace na strukturu a vlastnosti materiálu

S deformací materiálu dochází ke změně tvaru zrn. Zrna polyedrického tvaru se prodlužují ve směru převládající deformace a mohou tak vzniknout dlouhá vlákna s malým příčným průřezem. Během deformace také probíhá usměrnění původně nahodilé orientace krystalové mřížky. Změnou tvaru zrn a usměrněním orientace krystalové mřížky vzniká tzv. textura, jež se projevuje velikou anizotropií vlastností polykrystalického materiálu.

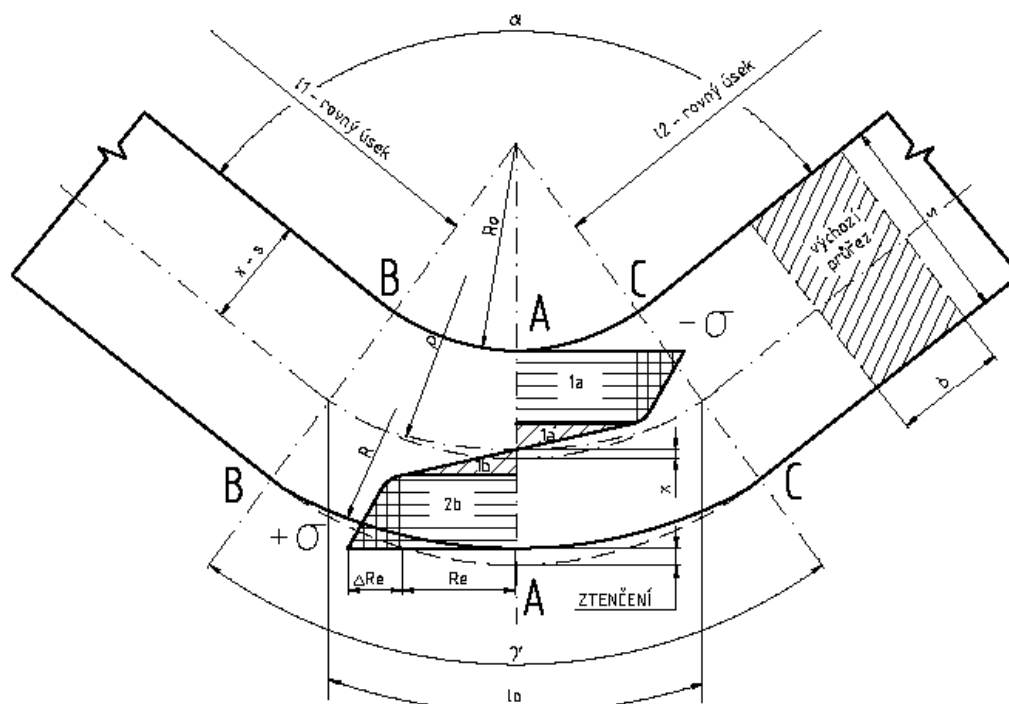
Během deformace též dochází k deformačnímu zpevňování materiálu. To je provázáno snižováním tažnosti, vrubové houževnatosti a kontrakce při současném nárůstu pevnosti a tvrdosti. To je zejména při víceoperačním tváření nežádoucí jev.

V závislosti na čase a teplotě dochází k deformačnímu stárnutí. To způsobuje pokles tažnosti a vzniká ostrá horní mez kluzu, což má za následek zhoršení tvárnosti za studena. Deformační stárnutí ocelí způsobují sloučeniny dusíku a uhlíku na hranicích zrn a v kluzných rovinách. Je to typické hlavně pro neuklidněné oceli s obsahem uhlíku menším než 0,1%.

[2]

## 2.2 Technologie ohýbání

### 2.2.1 Úvod



Obr. 2.2 Ohyb - podle [1]

kde

- 1a, 1b oblast pružné deformace [-],
- 2a, 2b oblast plastické deformace se zpevněním  $\Delta Re$  [MPa],
- $x$  velikost posunutí neutrální plochy (n.p.) od původní osy [mm],
- $R_0$  poloměr ohybu [mm],
- $l_0$  délka ohnutého úseku v n.p. [mm],
- $\rho$  poloměr n.p. [mm],
- $\gamma$  úhel ohnutého úseku ( $\gamma = 180^\circ - \alpha$ ) [°],
- $\alpha$  úhel ohybu [°],
- $s$  počáteční tloušťka materiálu [mm].

Ohýbání je trvalé deformování materiálu, při němž se materiál vzniklým napětím od působící síly buď ohýbá nebo rovná. Ohýbání je velmi častou technologickou operací ve strojírenské výrobě. Požadovaný tvar se získá u většiny součástí z plechů, drátů nebo tyčí často i několika ohyby. Materiály tvrdé, křehké apod. se ohýbají za tepla, jinak se běžně ohýbá za studena.

Základní přehled názvosloví a úkonů při ohýbání je uveden v ČSN 22 6001. Směrnice týkající se výpočtů pro konstrukce ohýbadel pak obsahuje ČSN 22 7340.

Ke stanovení rozměru výchozího polotovaru je nutná znalost polohy neutrální plochy ohýbaného průřezu.

[1]

### 2.2.2 Poloměr neutrální plochy

Poloměr neutrální plochy  $\rho$  při ohybu s velkým poloměrem zaoblení ( $R_o/s \geq 12$ ) [1]:

$$\rho = R_o + s/2 \quad [\text{mm}] \quad (2.6)$$

kde

$R_o$  poloměr ohybu [mm],

$s$  počáteční tloušťka materiálu [mm].

Poloměr n.p.  $\rho$  při ohybu s malým poloměrem zaoblení ( $R_o/s \leq 6$ ) [1]:

$$\rho = (R_o + s/2) \cdot z_z \cdot z_r \quad [\text{mm}] \quad (2.7)$$

kde

$z_z = s_1/s$  součinitel ztenčení,

$z_r = b_1/b$  součinitel rozšíření původního průřezu,

$b, s$  šířka a tloušťka výchozího materiálu [mm],

$b_1, s_1$  šířka a tloušťka materiálu po ohnutí [mm].

Poloměr n.p.  $\rho$  při ohýbání širokých pásů plechu ( $b \geq 3 \cdot s$ ) [1]:

$$\rho = R_o + x \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (2.8)$$

kde

$R_o$  poloměr ohybu [mm],

$x$  velikost posunutí n.p. od původní osy [mm],

$s$  počáteční tloušťka materiálu [mm].

### 2.2.3 Rozvinutá délka dílce

Délka ohnutého úseku dílce  $l_o$  [1]:

$$l_o = (\pi \cdot \gamma \cdot \rho) / 180 \quad [\text{mm}] \quad (2.9)$$

kde

$\gamma$  úhel ohnutého úseku ( $\gamma = 180^\circ \alpha$ ) [°],

$\rho$  poloměr n.p. [mm].

Celková rozvinutá délka polotovaru  $l_c$  [1]:

$$l_c = \sum l_{pi} + \sum l_{oi} \quad [\text{mm}] \quad (2.10)$$

Kde

$l_{pi}$  délka přímých úseků dílce [mm],

$l_{oi}$  délka ohnutých úseků dílce [mm].

### 2.2.4 Minimální poloměr ohybu $R_{min}$

Minimální poloměr ohybu  $R_{min}$  závisí na těchto faktorech:

- plastičnost a anizotropie použitého materiálu,

- způsob ohýbání,
- úhel ohybu,
- šířka a tloušťka ohýbaného polotovaru,
- kvalita povrchu.

Je vhodné ohyb provádět napříč směru vláken polotovaru a výstřižky z plechu je nutné zakládat do nástroje tak, aby byly vzniklé ostřiny uvnitř ohybu. U málo plastických materiálů by mohlo v opačném případě docházet v důsledku deformačního zpevnění ke vzniku trhlin. Proto je vhodné zařadit před operaci ohýbání vhodné tepelné zpracování (žíhání).

Hodnoty minimálních poloměrů  $R_{\min}$  pro různé materiály a různé podmínky ohýbání uvádí ČSN 22 7440.

V praxi se zpravidla používají poloměry alespoň o 20% větší než je  $R_{\min}$  pro daný materiál.

[1]

### 2.2.5 Maximální poloměr ohybu $R_{\max}$

Maximální poloměr ohybu je takový, při němž ještě v krajních vrstvách ohýbaného průřezu dochází k plastické deformaci, tedy je-li v nich napětí alespoň na mezi kluzu. Při větších poloměrech dochází k deformaci elastické, která není trvalá.

[1]

Maximální poloměr ohybu [1]:

$$R_{\max} = s \cdot E / (2 \cdot R_e) \text{ [mm]} \quad (2.11)$$

kde

- s tloušťka plechu [mm],
- E modul pružnosti v tahu [MPa],
- $R_e$  střední mez kluzu materiálu [MPa].

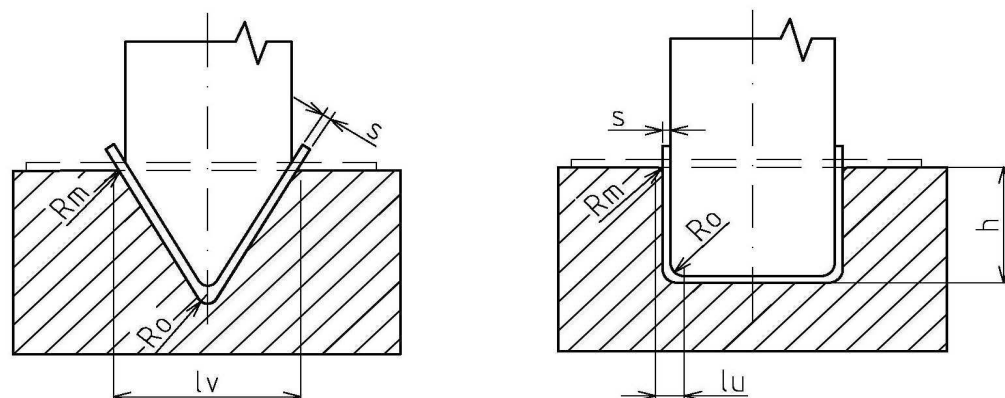
### 2.2.6 Volný ohyb bez kalibrace, odpružení

Při ohybu bez kalibrace dochází k odpružení, jež je následkem odeznění elastické deformace materiálu.

Velikost odpružení závisí na těchto faktorech:

- materiál,
- tloušťka polotovaru,
- poloměr ohybu,
- úhel ohybu,
- způsob provedení ohybu (U, V).

[1]



Obr. 2.3 Schéma k výpočtu odpružení - podle [1]

Hodnota odpružení  $\beta$  [1]:

$$\text{pro V ohyb} \quad \beta = \arctg (0,375 \cdot l_v \cdot R_e / (k \cdot s \cdot E)) [^\circ] \quad (2.12)$$

$$\text{pro U ohyb} \quad \beta = \arctg (0,75 \cdot l_u \cdot R_e / (k \cdot s \cdot E)) [^\circ] \quad (2.13)$$

kde

$l_v$  vzdálenost mezi opěrami ohybnice [mm],

$l_u = R_m + R_o + 1,2 \cdot s$  [mm],

$\beta$  úhel odpružení [°],

$E$  modul pružnosti v tahu [MPa],

$s$  tloušťka ohýbaného plechu [mm],

$k$  součinitel určující polohu neutrální plochy - dle ČSN 22 7340  $k = 0,5$  až  $0,68$  [-].

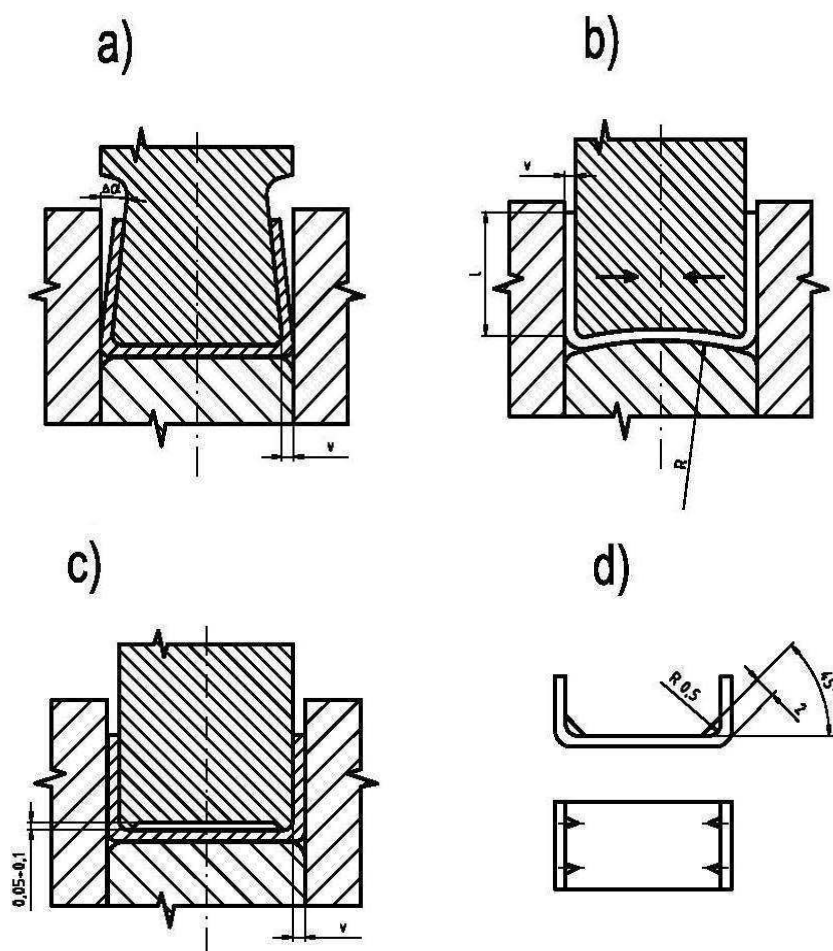
U součástí s velkým poloměrem ohybu ( $R_o / s \geq 20$ ) je odpružení velké a neurčuje se úhel odpružení  $\beta$ , ale změna poloměru ohybu.

Výpočet poloměru ohybníku s ohledem na odpružení uvádí ČSN 22 7340.

Odpružení mohou zabránit tyto úpravy:

- podbroušení ohybníku (vytvoří se tak tzv. záporná vůle), obr. 2.4 a),
- zaoblení dolní části ohýbadla či vyhazovače, obr. 2.4 b),
- zpevnění materiálu v rozích kalibrační oblasti ohybu, obr. 2.4 c),
- vyztužení pomocí žeber – prolisů, obr. 2.4 d)

[1]



Obr. 2.4 Způsoby odstranění výrazného odpružení po ohybu – podle [1]

### 2.2.7 Volný ohyb s kalibrací

Pomocí kalibrace lze dosáhnout odpružení kladného, nulového nebo i záporného dle stupně zpevnění kovu vzniklého při kalibraci.

[1]

### 2.2.8 Velikost ohýbací síly

Teoretická ohýbací síla  $F_O$  [2]:

$$F_O = (2 \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \cdot b \cdot t^2 \cdot R_e) / 3 \cdot l \quad [\text{N}] \quad (2.14)$$

kde

$R_e$  mez kluzu materiálu [MPa],  
 $\varepsilon$  mezní poměrné přetvoření krajních tahových vláken [-],  
 $b$  šířka materiálu [mm],  
 $s$  tloušťka materiálu [mm],  
 $l$  vzdálenost podpor ohýbadla [mm].

Dojde-li při ohybu ke kalibrování, je nutné přičíst kalibrovací sílu.

Kalibrovací síla  $F_K$  [2]:

$$F_K = S \cdot p \text{ [N]} \quad (2.15)$$

kde

$S$  kalibrovaná plocha polotovaru v průmětu kolmém na pohyb ohybníku [ $\text{mm}^2$ ],

$p$  měrný tlak pro kalibrování - dle materiálu 30 až 150 [MPa].

Při výpočtu velikosti ohýbací síly je nutné též přihlídnout ke tření.

Celková ohýbací síla  $F_{OC}$  při ohýbání s kalibrací [2]:

$$F_{OC} = F_O + 1,3 \cdot F_O + F_K \text{ [N]} \quad (2.16)$$

kde

$F_O$  teoretická ohýbací síla [N],

$F_K$  kalibrovací síla [N].

### 2.2.9 Velikost ohýbací práce

Ohýbací práce  $A_O$  [2]:

$$A_O = m^* \cdot F_{OC} \cdot h \text{ [J]} \quad (2.17)$$

kde

$m^*$  opravný koeficient respektující průběh ohýbací síly [-],

$F_{OC}$  celková ohýbací síla při ohýbání s kalibrací [N],

$h$  pracovní zdvih ohýbadla [mm].

Podobný způsob výpočtu uvádí ČSN 22 7340.

### 2.2.10 Technologická doporučení pro ohýbání dílců

Základní technologická doporučení pro ohýbání lze shrnout do těchto bodů:

- osu ohybu nutno volit kolmo k průběhu vláken materiálu, jinak použít větší poloměr ohybu,
- používat při ohybu kalibraci,
- využít technologicko konstrukční úpravy ohýbaných součástí (prolisy, žebra apod.),
- doporučeno vytvořit přídavné tahové napětí vypnutím polotovaru před ohýbáním. [1]

### 2.2.11 Faktory, na nichž zejména závisí přesnost ohýbání

Hlavní faktory ovlivňující přesnost ohybu jsou tyto:

- velikost a tvar ohýbaného dílce,

- rovnoměrnost mechanických vlastností materiálu v ploše polotovaru,
- rovnoměrnost tloušťky polotovaru,
- přesnost ohýbadla,
- využití kalibrace.

[1]



## 2.3 Ohýbací nástroje

### 2.3.1 Charakteristika funkčních částí ohýbadel

Ohýbadlo se skládá z pohyblivého ohybníku, jenž je umístěn v beranu, a pevné ohybnice. Poloměr zaoblení ohybníku  $R$  je dán tvarem ohýbané součásti a musí respektovat jak minimální poloměr ohybu  $R_{\min}$ , tak maximální poloměr ohybu  $R_{\max}$ . Poloměr zaoblení hran ohybnice má vliv na potřebnou ohýbací sílu a na jakost povrchu ohýbané součásti. S klesající velikostí poloměrů zaoblení roste nutná ohýbací síla. Běžně se používají poloměry zaoblení o velikosti dvou až šestinásobku tloušťky polotovaru. [3]

### 2.3.2 Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí

Vůle při ohýbání závisí na těchto faktorech:

- tloušťka polotovaru,
- výrobní tolerance materiálu a jeho druh,
- délka ohýbaného okraje.

Při použití malé vůle je potřebná vyšší ohýbací síla. [3]

Ohýbací vůle  $v_o$  [3]:

$$\text{pro oceli} \quad v_o = (1,05 \text{ až } 1,15) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.18)$$

$$\text{pro barevné kovy} \quad v_o = (1,00 \text{ až } 1,10) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.19)$$

kde

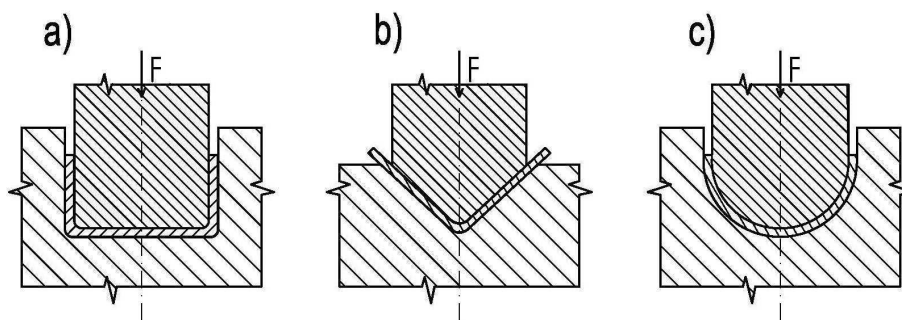
$s$  tloušťka ohýbaného dílce [mm].

### 2.3.3 Konstrukční řešení ohýbadel

Základní používané tvary ohýbadel jsou následující:

- tvar U, obr. 2.5 a),
- tvar V, obr. 2.5 b),
- s velkým poloměrem zaoblení, obr. 2.5 c).

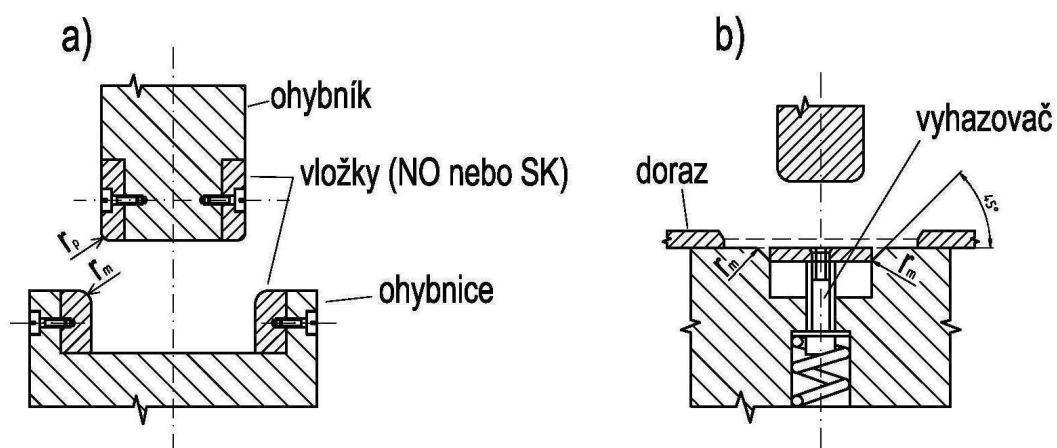
[3]



Obr. 2.5 Základní tvary ohýbadel – podle [3]

### 2.3.4 Funkční části ohýbadel

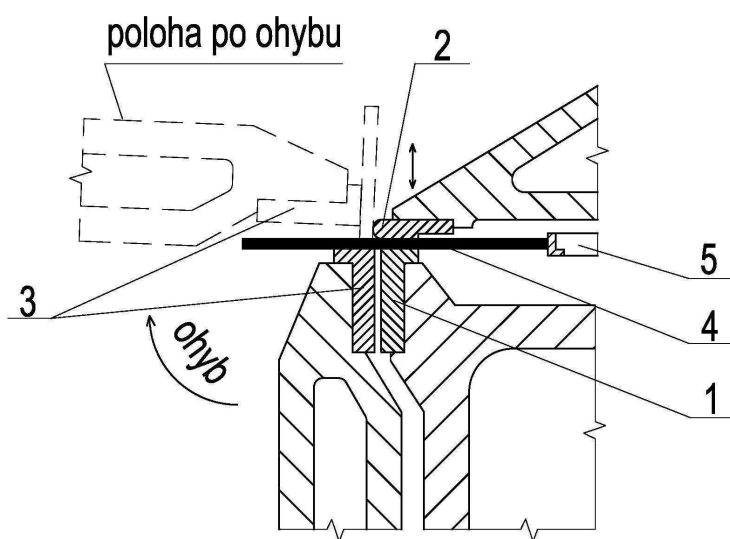
Ohybník je opatřen stopkou se zajištěním proti otáčení. Poloměr zaoblení ohybníku je stejný jako poloměr ohybu součásti. Pro vyšší odolnost nástrojů proti opotřebení a pro úsporu použitím nižšího množství legovaných ocelí se používají vložky z odolnějších materiálů, například ze slinutých karbidů, obr. 2.6 a). Pro ohyb polotovarů tlustších než 3 mm je vhodné sražení hran ohybnice pod úhlem 45°, obr. 2.6 b). Vyhazovač může plnit funkci přidržovače, který zabraňuje posuvu polotovaru. [3]



Obr. 2.6 Funkční části ohýbadel – podle [3]

### 2.3.5 Ohýbání na ohýbačkách

Ohyb lze provádět na ohýbačkách při kusové výrobě a menší velikosti ohýbaného dílce, obr. 2.7 [3]



Obr. 2.7 Schéma ohýbačky – podle [3]

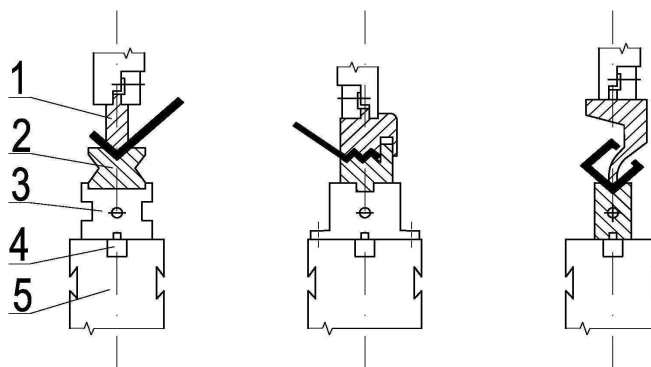
kde

1 pevná lišta,

- 2 svěrací lišta,
- 3 pohyblivá čelist,
- 4 polotovar (plech),
- 5 doraz.

### 2.3.6 Ohýbání na ohraňovacích lisech

Nástroje pro ohraňovací lisy jsou převážně univerzální. Na stole bývá klínovou lištou zajištěn dlouhý nosník, na němž je uložena ohybnice, již lze otáčet a tedy používat ze čtyř stran. Ohybník je uchycen na beranu lisu, obr. 2.8. [3]



Obr. 2.8 Nástroje pro ohraňovací lisy – podle [3]

kde

- 1 ohybník,
- 2 ohybnice,
- 3 nosník,
- 4 klínová lišta,
- 5 stůl.

### 2.3.7 Typické materiály funkčních částí ohýbadel

Nejčastěji používané materiály pro výrobu funkčních částí ohýbadel jsou následující:

- oceli 19 191.3 a 19 312.3, kaleno a popuštěno většinou na 58 až 60 HRC – pohyblivé a pevné části ohýbadel a často i vložky,
- ocel 11 523 – základní desky, pevné části hlavice, vodicí lišty,
- 14 220 (chromová cementační ocel, cementováno do hloubky až 1,5mm, HRC až 62, kaleno) – vodicí kolíky, rozpěrné klíny, základací dorazy,
- oceli 19 436.3, 19 452.3 nebo 19 733.3 (nástrojové slitinové oceli, kaleno, popuštěno na HRC 58 až 60) – vyhazovače, přidržovače.

[3]

## 3 AUTOMATIZACE

### 3.1 Úvod

#### 3.1.1 Mechanizace

Za jakýsi první stupeň na cestě k automatizaci výroby lze považovat mechanizaci. Mechanizace výroby znamená využití různých technických prostředků, jejichž vzájemná závislost je zabezpečena člověkem. Operace jsou prováděny přenosem mechanické, elektrické, pneumatické či hydraulické energie. Výběr operací, řízení, zahájení a zakončení pracovního cyklu jsou zabezpečovány člověkem. Mechanizace často slouží k odstranění namáhavé lidské práce, např. při manipulaci předměty vysoké hmotnosti. [5]

#### 3.1.2 Automatizace

Automatizace výroby znamená využití různých technických prostředků, s jejichž pomocí samočinně probíhají dílčí či celé pracovní procesy podle předem zadaného programu za působení řídicích systémů bez přičinění člověka. Prováděné akce mohou být automaticky kontrolovány a výsledky kontroly pak zpětně působí na výrobní prostředky (tzv. zpětná vazba). [19] [5]

Z pohledu historického vývoje šlo z počátku především o dílčí prvky automatizace výrobního procesu, a to zejména v sériové výrobě - tzv. tvrdou automatizaci. Tedy že pracovní cyklus stroje je vytvořen zpravidla na mechanickém principu a není schopen snadného přestavení pro novou technologickou úlohu. V současné době jsou představiteli tvrdé automatizace jednoúčelové obráběcí stroje a linky určené k výrobě jedné či několika součástí stejného typu.

V padesátých letech dvacátého století nastal rozvoj pružné automatizace, jež umožnil automatizovat výrobní proces bez ohledu na velikost výrobní série a snadno měnit výrobní sortiment. Tato etapa vývoje je charakteristická zavedením číslicově řízených strojů do výroby, které zaručuje opakovatelnost výroby a změnu funkce dělníka z řídicí pozice do pozice dohlížecí. V současnosti automatizace směřuje k rozsáhlé počítačové integraci většiny činností ve strojírenské výrobě. [7]

Cílem automatizace je přínos ekonomických, technických a společenských výhod. [5]

Za splnění ideálního předpokladu tzv. komplexní automatizace by teoreticky mohlo dojít až k vyřazení člověka z příslušného výrobního procesu. [19]

#### 3.1.3 Automatizace manipulace

Významným úkolem je automatizace operační manipulace. Pojem operační manipulace nevystihuje jednoznačně automatizační problematiku, neboť pochody spojeném s operační manipulací, ačkoliv jsou v konkrétním případě všechny automatizovány, mohou být stále uváděny v souvislosti s lidskou rukou. Při povrchní úvaze vede tato asociace k tomu, aby se lidská ruka nahradila technickými prostředky při zachování původní kinematiky pohybu. Tento postup nemusí být vždy účelný a optimální. Nové samostatné řešení technologického procesu a jeho automatizace vede často k lepším výsledkům.

Předmět je většinou nutné dodat potřebným způsobem na určité místo, v určité poloze a v určitém čase. Často jde i o upnutí a po skončení operace o předání dále.

Technicko-ekonomické účinky automatizované operační manipulace lze vymezit takto:

- zkrácení vedlejších časů,
- větší bezpečnost práce,
- značně větší rovnoměrnost a přesnost průběhu pohybů,
- možný přechod od jednotlivé výroby k výrobě linkové vzájemným spojením jednotlivých operačních pracovišť,
- snížení nákladů (nižší počet pracovníků),
- lepší využití stroje,
- sociologické účinky (zbavení pracovníka monotónní činnosti, příp. vyloučení činnosti ve škodlivém prostředí).

Jednotlivé úkoly automatizace operační manipulace lze řešit jednoúčelovými speciálními podávacími mechanismy nebo použitím jednoúčelových či univerzálních manipulátorů a průmyslových robotů.

Efektivnost automatizace je mnohostranná. Její rentabilita nespočívá jen v úspoře pracovních sil a tedy i nákladů na mzdy, což bývá hlavním cílem automatizace. Hlavním přínosem může být i vyšší produkce za současného snížení zmetkovitosti, celkové snížení nákladů, úspora materiálu, snížení doby výroby apod.. Je však nutné si uvědomit, že automatizace často zvyšuje požadavky na odběr elektrické energie, čímž se zvyšují náklady na elektřinu.

Řešení automatizačních úkolů značně ovlivňuje typ výroby. Technické prostředky použité pro automatizaci kusové a malosériové výroby by měly být pružné, snadno přestavitelné. Naproti tomu ve výrobě velkosériové a hromadné převládá tzv. tvrdá automatizace.

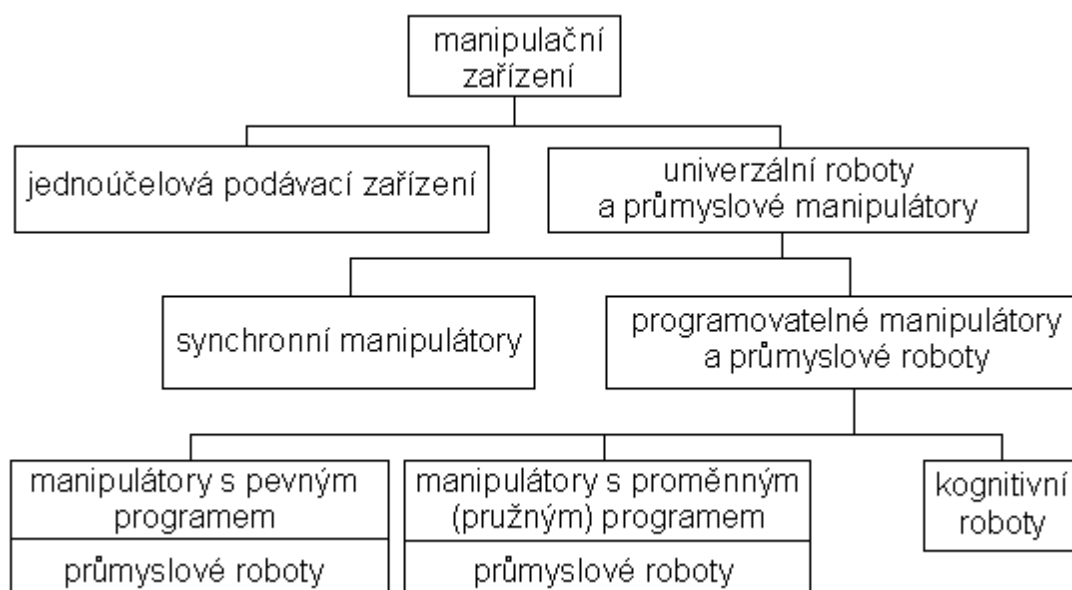
[5]

## 3.2 Manipulátory a průmyslové roboty

### 3.2.1 Rozdělení manipulátorů a průmyslových robotů

Manipulátory a roboty slouží zejména k náhradě lidského v manipulaci s materiálem. Ve spojení s výrobními stroji se uplatňují při manipulaci s nejrůznějšími předměty. Možnost použití vhodných úchopných členů včetně podtlakových zařízení umožňuje jejich použití i pro manipulaci s křehkými rozličně tvarovanými polotovary a výrobky.

Manipulační mechanismy lze rozdělit s ohledem na jejich funkční činnost způsobem uvedeným na obrázku obr. 3.1.



Obr. 3.1 Rozdělení manipulačních mechanismů – podle [5]

**Jednouúčelová podávací zařízení** jsou většinou součástí obsluhovaného stroje, jsou poháněna vlastním pohonem nebo pohonem odvozeným od stroje a řízena strojem. Tvarově i konstrukčně jsou podřízena stroji.

**Univerzální manipulátory** mají vlastní řízení, provedení, pohonem a funkcí jsou na stroji nezávislé.

**Průmyslové roboty** jsou složitějšího provedení. Od ostatních manipulačních mechanismů se liší především vysokou úrovní řízení.

**Synchronní manipulátory** (teleoperátory, balancéry) jsou zařízení, jejichž řízení zajišťuje pracovník. Synchronní manipulátory slouží jako zesilovací ústrojí, jež přenáší na dálku příkazy člověka, který pak potřebuje k provedení úkonu mnohonásobně menší sílu než při ruční manipulaci.

**Programovatelné manipulátory a průmyslové roboty** jsou řízeny programovým ústrojím. Provedením, pohonem a funkcí jsou na obsluhovaném stroji nezávislé.

**Manipulátory a průmyslové roboty s pevným programem** jsou zařízení, u nichž se program během činnosti nemění, programové ústrojí je jednoduché.

**Manipulátory a průmyslové roboty s proměnlivým programem** jsou zařízení s možností přepínání nebo volby programu, patří mezi ně zařízení s adaptivním řízením.

**Kognitivní roboty** jsou schopny vnímání aktuální situace a racionálního uvažování.

Manipulační zařízení mohou být vybavena čidly, pomocí nichž jsou schopna rozpoznat dílce a přizpůsobovat nastalé situaci svou činnost.

Po naprogramování se roboty chovají jako mechanicky determinovaný systém a nejsou schopny složitějších interakcí mimo těch, které jim umožňují jejich čidla.

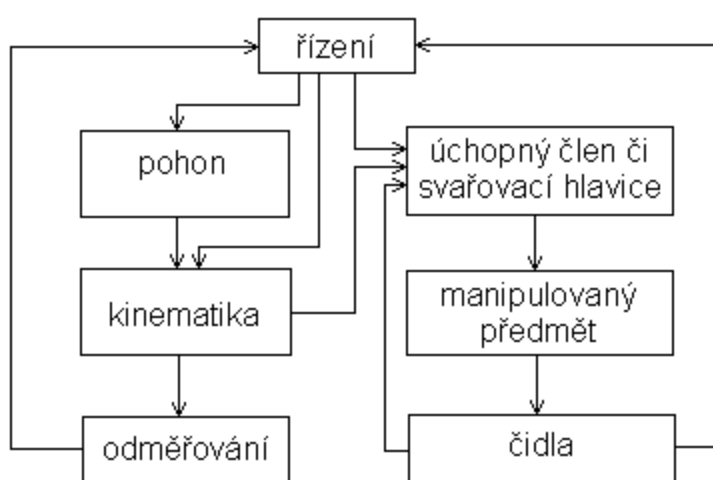
Dle studií použití manipulátorů představuje v porovnání lidskou pracovní silou zisk zejména při vícesměnném provozu. Rozsah provedené automatizace je dán potřebou a ekonomickými možnostmi zřizovatele. Významných finančních úspor ze strany zřizovatele lze dosáhnout stavebnicovým řešením manipulátorů a robotů a normalizací jejich jednotlivých komponent.

[5]

### 3.2.2 Blokové schéma průmyslového robotu

Průmyslové roboty se skládají z pohonu, řízení, odměřovacího systému, kinematického mechanismu a úchopného členu či technologické hlavice (případně vybavené čidly). Blokové schéma průmyslového robotu, obr. 3.2, znázorňuje silové a informační vazby mezi jednotlivými prvky robotu a vazby vůči manipulovanému předmětu. Uchopným členem nebo technologickou hlavicí působí robot v souladu se žadaným technologickým úkolem na své okolí. Jednotlivé články robotu jsou vybaveny pohony, jejichž činnost ovládá systém programového řízení. Vybavením robotu čidly se významně rozšíří funkční schopnosti i schopnost adaptability průmyslového robotu.

[5]



Obr. 3.2 Obecné blokové schéma průmyslového robotu – podle [5]

### 3.2.3 Kinematika průmyslového robotu

Manipulátory či roboty jsou zařízení, jež vykonávají pohyby podobné pohybům lidské ruky. Lidská ruka má 27 stupňů volnosti, pro obecné zajištění polohy a orientace předmětů v prostoru postačuje 6 stupňů volnosti. Při specifických požadavcích na manipulaci jsou však konstruována i zařízení s více stupni volnosti. [5], [7]

Pohyby průmyslového robotu lze rozlišovat na:

- manévrovací (globální),
- operační (regionální),
- suboperační (místní).

Úchopný člen či technologická hlavička určují orientační schopnosti robotu a zbývající prvky mechanismu determinují orientační schopnosti robotu a jeho manévrovací schopnosti.

Kinematická struktura robotů a jejich pohybové možnosti jsou předurčeny druhem a sledem kinematických vazeb. Každá varianta kinematického uspořádání vymezuje operační prostor, do jehož libovolného bodu může robot zasáhnout úchopným členem či technologickou hlavicí. Rozměry i tvar tohoto prostoru se mění se změnou poměrů mezi rozměry jednotlivých prvků a úhly os kinematických dvojic. Různá kinematická uspořádání jednotlivých prvků přináší různé tvary operačních prostorů a někdy i různé možnosti, jak dosáhnout téhož bodu v prostoru. Při manipulaci s předmětem lze využít posuvné a rotační pohyby a jejich různé kombinace.

Všechny průmyslové roboty a manipulátory jsou charakterizovány určitým kinematickým principem, který má značný vliv na jejich možnosti a vhodnost pro plnění určitých operací.

[5]

Při stavbě robotů jsou nejčastěji používané kinematické dvojice translační (přímočaře posuvné) a rotační. [7]

Mechanickou část průmyslových robotů a manipulátorů lze rozdělit na tyto funkční celky:

- ústrojí pro polohování,
- ústrojí pro orientaci manipulovaného předmětu vůči souřadnicovým osám,
- výstupní hlavičky sloužící k uchopení předmětu nebo provedení technologické operace.

Z hlediska statického a dynamického zatížení je při konstrukci zařízení nutné prověřit zejména polohovací ústrojí, neboť to je zatěžováno nejvíce – vyskytují se zde velké zdvihy, značné rychlosti a velké pohyblivé hmoty.

[5]



### 3.2.4 Druhy pracovních prostorů průmyslových robotů a manipulátorů

Pracovním prostorem je myšlena oblast, jíž je schopen robot či manipulátor obsáhnout koncovým bodem svého pracovního ramene.

Pracovní prostory manipulačních zařízení jsou tyto:

- pravoúhlý (kartézský) pracovní prostor – tvar kvádru, využití třech kinematických dvojic,
- válcový (cylindrický) pracovní prostor – tvar válcového prstence, využití jedné rotační a dvou translačních kinematických dvojic,
- kulový (sférický) pracovní prostor – tvar kulového prstence, využití dvou rotačních a jedné translační kinematické dvojice,
- torusový pracovní prostor – tvar torusového segmentu, využití třech rotačních kinematických dvojic.

Pohyb v každé souřadnici je realizován pohybovým mechanismem podle druhu souřadnice, tedy buď mechanismem lineárním nebo rotačním. Nepřesnosti a vůle pohybového mechanismu mají vliv na přesnost dráhy vykonávané pohybovým členem. Jednotlivé chyby ve směru souřadnic se geometricky sčítají a jejich součet udává výslednou statickou chybu polohování. Nejpřesnější je systém kartézský.

[5], [7]

### 3.2.5 Přesnost manipulace

Dosahovaná přesnost manipulace závisí zejména konstrukci zařízení a použitých prvcích pohonu, odměřování a řízení.

Přesnost polohování je maximální odchylka mezi požadovanou a skutečnou polohou v libovolném zvoleném bodu pracovního prostoru. Na přesnost polohování má vliv aktuální směr a rychlost pojezdu a zatížení zařízení.

Opakovaná přesnost bývá vyšší než přesnost polohování, protože do cílového bodu se najíždí ze stejného směru a stejnou rychlostí. Geometrická přesnost dráhy má význam pouze pro určité aplikace. Výrobci robotů většinou uvádí podmínky, za nichž je daná přesnost dosažitelná.

[7]

### 3.2.6 Pohony robotů

Pohonné systémy zajišťující pohyb v jednotlivých pohybových osách jsou následující:

- hydraulické,
- pneumatické,
- elektrické,
- mechanické.

Jejich výhody a nevýhody viz tab. 3.1.

Tab. 3.1 Výhody a nevýhody jednotlivých druhů pohonů [5]

vlastnosti	druh pohonu			
	mechanický	pneumatický	hydraulický	elektrický
možnost řízení	nízká	průměrná	vysoká	vysoká
účinnost pohonu	vysoká	vysoká	vysoká	průměrná
měrný výkon	nízký	průměrný	vysoký	průměrný
závislost na teplotě	nízká	vysoká	vysoká	nízká
těsnost	bezproblémová	problematická	problematická	bezproblémová

Na zvoleném druhu pohonu závisí rychlost a přesnost prováděných operací i nosnost průmyslového robotu nebo manipulátoru.

**Mechanické pohony** se využívají jen u jednoduchých jednoúčelových manipulátorů. Jde hlavně o vačkové a pákové mechanismy.

**Hydraulické pohony** jsou výhodné pro svůj značný výkon při relativně malých rozměrech hydraulických prvků, plynulé řízení rychlosti a libovolný počet pracovních mezípoloh. Nevýhodou je teplotní závislost, nízká účinnost a problémy se ztrátami oleje při vzniku netěsností.

**Pneumatické pohony** jsou vhodné pro průmyslové roboty a manipulátory s nižší únosností a výhodou je hlavně jednoduchá údržba, nízká pořizovací cena a čistota prostředí. Nedostatkem je nižší přesnost, obtížná regulace, vyšší hlučnost, energetická náročnost a omezený počet stavitelných poloh.

Významnou roli mezi pohony mají **elektrické servopohony**, jež se v poslední době dostaly do popředí a jsou dnes nejrozšířenějším druhem pohonu u průmyslových robotů. Výhodnost elektrických pohonů spočívá ve vysoké přesnosti polohování, jejich snadné montáži, nízkých nákladech na údržbu a nízké ovlivnitelnosti změnami teploty.

Používají se tyto elektrické motory:

- stejnosměrné motory s kotoučovým rotorem,
- krokové motory,
- střídavé motory.

[5], [7]

### 3.2.7 Převody používané v průmyslových robotech

Převody používané v konstrukci prům. robotů lze dělit do těchto kategorií:

- ozubená kola
- ozubený hřeben
- šroub a matice
- kuličkový šroub a matice
- řemenový převod s ozubeným řemenem
- řetězový převod
- šnekový převod
- planetový převod
- harmonický převod

[7]

### 3.2.8 Řízení průmyslových robotů a manipulátorů

Řídicí systém dle uloženého programu řídí činnost robotu ovládáním pohonů a ostatních mechanismů, zajišťuje komunikaci s řídicím systémem obsluhovaného výrobního stroje, případně s řídicím systémem periferního zařízení (dopravníky apod.).

Pro řízení robotů se používají prostředky z oblasti výpočetní techniky. Struktura řídicího systému robotu odpovídá struktuře počítače. [7]

Řídicí systémy lze rozlišit na:

a)

- řídicí systémy s pevným programem,
- řídicí systémy s pružným programem,

V současnosti lze považovat za standard řídicí systémy s pružným programem. Průmyslové roboty pracující podle pevného programu patří k první generaci průmyslových robotů.

b)

- řídicí systémy bodové (PTP – point to point)
- řídicí systémy dráhové (CP – continuous path)

Bodové řízení umožňuje dosáhnout požadovaných bodů operačního prostoru, aniž by mezi průběhy pohybu v jednotlivých osových směrech byla funkční souvislost. Důležité jsou zde jen body, kterých musí chapadlo nebo technologická hlavice během své činnosti dosáhnout, cesta, kterou prochází, již méně. Při využití bodového řídicího systému lze úspěšně využít všechny druhy pohonů.

Je-li pohyb chapadla či technologické hlavice funkčně vázán k jednotlivým pohybovým osám, pak jde o řízení dráhové. Vzhledem k vyšším požadavkům na přesnost pohybu tyto řídicí systémy většinou používají pohony hydraulické nebo elektrické.

Řídicí systém průmyslového robotu bývá navržen tak, že je robot spojen s obsluhovaným strojem, se spolupracujícími roboty nebo s jinými externími zařízeními.

[5]

### 3.2.9 Odměřování polohy průmyslových robotů a manipulátorů

Snímače umožňují sběr informací o skutečném stavu funkčních orgánů průmyslových robotů a dávají řídicímu systému robotu základní informace o prostředí, v němž robot pracuje, či o stavu manipulovaného objektu. Tyto hodnoty řídicí systém porovnává s hodnotami požadovanými. Podle zjištěného rozdílu pak koriguje pohyb robotu. [5], [7]

Ke stanovení polohy se používají tyto způsoby odměřování:

- inkrementální (přírůstkové) odměřování - odměřování dráhy po jednotlivých krocích,

- absolutní odměřování - každá pozice generuje signál přesně definující aktuální polohu vzhledem k počátku soustavy souřadnic,
- regulační obvod otáček - k odměřování rychlosti otáčení. Snímání otáček probíhá pomocí tzv. tachogenerátoru,
- polohový regulační obvod - polohování os často dvěma překrývajícími se regulačními obvody.

[7]



## 4.2 Postup sestavování návrhu

V praxi je nejčastějším požadavkem racionalizovat stávající výrobu, méně častým požadavkem bývá návrh výroby zcela nové.

Příprava návrhu je cyklická činnost, která zpravidla probíhá v těchto etapách:

- diagnostika, orientační průzkum - prvotní seznámení s objektem řešení,
- sběr informací,
- rozbor stávajícího stavu – základ pro určení variant možného řešení problematiky

Rozbor stávajícího stavu by měl sestávat z těchto částí:

- rozbor standardizace v dané výrobě,
  - rozbor vybavenosti stroji a jejich využití,
  - rozbor technického stavu základních prostředků,
  - rozbor vybavenosti speciálním nářadím,
  - rozbor úrovně mechanizace a automatizace,
  - rozbor toku materiálu a manipulačních prostředků,
  - časové rozbor výroby a manipulace,
  - rozbor stávajícího dispozičního řešení,
  - rozbor ergonomie,
  - rozbor kvalifikační struktury pracovních sil,
  - rozbor úrovně řízení,
- 
- rozpracování zvoleného variantního návrhu včetně ekonomického hodnocení dané investice, případně doplněného o časový plán realizace.

[4]

### 4.3 Výrobek a typ výroby

Výrobek a typ výroby mají zásadní vliv na zpracování technologického projektu. Neboť v jednom závodě nebo i provozu bývá vyráběno více výrobků současně, charakterizujeme celý závod dle převládajícího druhu výroby.

Dle druhu výroby se ve strojírenství rozlišují tyto druhy výroby:

- kusová - univerzální nářadí a strojní zařízení, pracovní síla dostatečně kvalifikovaná, každý výrobek originál,
- sériová - charakteristický vyšší počet výrobků vyráběný v dávce, použité stroje progresivnější, rozmísťovány předmětně do linek, nářadí speciální, pracovní síla méně kvalifikovaná než v kusové výrobě,
- hromadná - uplatnění při výrobě velkého počtu shodných výrobků, charakteristické jednoúčelové speciální stroje sestavené do linek i speciální nářadí, každá změna ve výrobě vyvolává nutnost přestavby linky. Kvalifikace pracovníků je nízká.

Dle hmotnosti výrobků se ve strojírenství rozlišují tyto druhy výroby:

- lehká,
- středně těžká,
- těžká.

[4]

#### 4.4 Základní způsoby rozmístění strojů a pracovišť

Rozmístění strojů a pracovišť má být optimální vzhledem k požadavkům na hospodárnost výroby, přehlednost uspořádání, přímočarost, nevratnost a nekřížení materiálových toků, minimální manipulace a zabraný prostor a splnění požadavků na bezpečnost práce.

Způsoby uspořádání pracovišť jsou tyto:

- volné - pracoviště v dílně rozmístěna náhodně, nelze určit materiálový tok a návaznost operací, charakter výroby kusový,
- technologické - pracoviště slučována dle příbuznosti technologických operací na nich prováděných, sortiment vyráběných součástí často velmi různorodý,
- předmětné - pracoviště jsou seřazena dle technologického postupu výrobku, vznikají tak specializované dílny zaměřené na výrobu určitého typu výrobku. Pohyb výrobků sleduje stejný směr a vzniká tak výrobní proud,
- modulární - seskupování stejných technologických bloků plnicích více technologických funkcí zároveň,
- buňkové - buňky obvykle ve formě vysoce produktivních strojů s mechanizovaným či automatizovaným okolím (roboty, manipulátory, zásobníky apod.), svým způsobem modifikace modulárního uspořádání. (S tímto typem uspořádání se lze setkat například v kovárnách, kde je pak pracoviště nazýváno "kovací buňka", nebo v montážích, kde je pracoviště nazýváno "montážní hnízdo".),
- kombinace předchozích.

Při projektování větších celků je většinou nutné použít více druhů uspořádání pracovišť.

Do dispozičního řešení dílny se stroj zakresluje svými krajními rozměry včetně vyznačení krajních poloh pohybujících se částí stroje. I přes potřebu zabrat jednotlivými pracovišti nejmenší možnou plochu (výrobní plocha je velmi drahá) je nutné dodržet základní zvyklosti a normy, jež jsou stanoveny za účelem dodržení bezpečnosti na pracovištích a hygieny práce. Do dispozičního řešení se kromě strojů zakresluje i všechno jejich příslušenství, skříně na nářadí, regály, odkládací prostory i prostor pro pracovníka.

[4], [8]



## 4.5 Projektování pracovišť

### 4.5.1 Definice technologického pracoviště

Technologické pracoviště je základním prvkem výrobního systému a nejnižší organizační jednotkou výroby. V technologickém pracovišti probíhá dílčí technologický proces.

Při nedořešení detailního rozmístění elementárních jednotek na pracovišti může docházet k dlouhým časovým prodávám z důvodu hledání přípravků a náradí, což je důsledkem jejich neoperativního uložení nebo špatného přístupu k nim, hromadění výrobků a odpadů na pracovišti a tedy v konečném důsledku k nedostatečnému využití výkonu pracoviště.

### 4.5.2 Využití ergonomie v projektování

Ergonomie pracovního prostředí velmi ovlivňuje výkon pracovníků. Jde zejména o problematiku bezpečnosti a hygieny práce, osvětlení, hluku, otřesů a vibrací, fyzického i psychického zatížení pracovníka, barevného řešení pracovišť a klimatických podmínek na pracovištích.

[4]

### 4.5.3 Členění podlahové plochy útvarů průmyslové činnosti

Podlahovou plochu lze členit takto:

- provozní podlahová plocha - dále členěna na vlastní výrobní podlahovou plochu, na níž je uskutečňován vlastní výrobní proces (plocha zaujímaná strojními pracovišti – tzv. plocha strojní a ručními pracovišti – tzv. plocha ruční) a na podlahovou plochu pomocnou, která je tvořena plochou skladů (provozních, meziskladů, skladů náradí atd.), plochou dopravní (cesty, vlečky, výtahy atd.) a na tzv. ostatní pomocnou plochou (výdejny náradí, dílny strojní údržby atd.),
- správní podlahová plocha - kanceláře, vedení provozu atd.,
- sociální podlahová plocha - jídelny, ošetrovny, umývárny, wc atd..

[8]

### 4.5.4 Rozměrové řešení pracoviště

Při rozměrovém řešení pracoviště je nutné dbát na následující záležitosti:

- pracovní poloha pracovníka,
- pohybový prostor,
- zorné podmínky,
- pohlaví a stáří člověka,
- speciální podmínky dané práce.

Z hygienického hlediska je vždy pro pracovníka při výkonu práce výhodnější sed než stoj, neboť je energeticky méně náročný a nezatěžuje trvale dolní končetiny.

[4]

#### **4.5.5 Osvětlení pracoviště**

Výzkumy bylo zjištěno, že více než 80% informací získává člověk pomocí zraku. Správné osvětlení na pracovišti je tedy důležité jak z hlediska správného vykonávání práce, tak z hlediska kvality, čistoty, bezpečnosti na pracovišti a psychické pohody pracovníka. Hlavním cílem projektování z hlediska osvětlení pracoviště je takové umělé osvětlení, jež se co nejméně liší od přirozeného osvětlení.

Zásady světelného řešení pracovišť řeší normy ČSN 36 0004 a ČSN 36 0046. [4]

#### **4.5.6 Bezpečnost práce na pracovišti**

Ideální bezpečnost je stav pracoviště, při němž nemůže nastat úraz. Tento stav je pouze teoretický a nelze ho nikdy dosáhnout. Lze se mu však přiblížit vhodným navržením pracoviště, pečlivým výběrem pracovníka a jeho důkladným proškolením.

Při technologickém projektování je projektant povinen dodržovat bezpečnostní předpisy pro rozmísťování strojů a zařízení, které uvádí norma ČSN 73 5105. [4]

## 4.6 Způsob výběru vhodného řešení

### 4.6.1 Obecná kritéria pro volbu zařízení

Kritéria pro volbu daného variantního návrhu lze členit takto:

■ technologická kritéria

- druh technologické operace, již je nutno zajistit,
- rozsah rozměrů vyráběného výrobku,
- tvarová složitost výrobku,
- požadovaná jakost výroby,
- sériovost výroby.

■ ekonomická kritéria

- produktivita,
- hospodárnost.

[6]

### 4.6.2 Vymezení, hodnocení a výběr variant

Jde o úzce související kroky rozhodovacího procesu. Nutnost omezit subjektivní činitele na nejnižší možnou míru vede k potřebě řešit každý projekt ve více variantách. Tyto varianty zpracovávají pro následný výběr tzv. varianty optimální nejsou však zpracovávány detailně, ale vypracovávají se pouze v hrubém návrhu. [8]

**Vymezení** reálných variant je možné až v okamžiku, kdy je jasné definován problém, který je třeba řešit, a když je jasné definovaný cíl.

**Hodnocení** navržených variant má za úkol porovnat jednotlivé možnosti tak, aby bylo možné vybrat optimální řešení. Pro hodnocení se používají různá kritéria, která představují koncentrované požadavky na řešení problému.

Již při výběru kritérií lze podstatně ovlivnit výsledek rozhodování, například vynecháním jednoho z důležitých kritérií. V ideálním případě by kritéria měla představovat uzavřený soubor umožňující komplexní posouzení. Soubor kritérií, který se již dříve osvědčil, je možné přejímat jen tehdy, jsou-li podmínky neměnné. Upřednostňují se kvantifikovaná kritéria, tedy ta, která lze exaktně vyjádřit.

Kritéria lze rozdělit na dvě skupiny:

- absolutní – nezbytné podmínky, jimž musí vyhovět každá varianta, uplatňují se již při výběru možných variant,
- relativní – určující stupeň účelnosti jednotlivých variant a umožňující jejich vzájemné srovnání.

Ke každé zvažované variantě je vhodné uvést její výhody a nevýhody, což následně poslouží při hledání optimální varianty.

[6]

#### **4.6.3 Stanovení stupně splnění vytýčených cílů při realizaci jednotlivých variant**

Metody stanovení stupně vytýčených cílů jsou tyto:

- metoda srovnání předností a nedostatků - nejlepší varianta vybrána na základě vzájemného porovnání jednotlivých variant z hlediska jejich předností a nedostatků,
- metoda bodovací - všem kritériím pro výběr nejlepší varianty přisouzen stejný význam, určeno rozmezí bodovací stupnice a jednotlivé varianty následně na základě kritérií bodovány. za optimální považována varianta s největším součtem bodů,
- metoda klasifikační (váhové hodnocení) - při tomto hodnocení každému z kritérií přiřazena určitá číselně vyjádřená váha na základě jeho významnosti, následně varianty bodovány stejně jako při vyžití metody bodovací, bodové zisky za splnění jednotlivých kritérií vynásobeny jejich vahami a nakonec je určen součet pro každou variantu – tzv. váhové hodnocení. za optimální považována varianta s největším váhovým hodnocením,
- ekonomický propočet - buď vzájemné porovnáním dvou variant nebo porovnání každé z nich s aktuálním stavem z hlediska nákladové náročnosti za dobu životnosti investice.

[6]

## 4.7 Kapacitní propočet pro potřeby této práce

### 4.7.1 Způsob propočtu

Pro dané podmínky je znám plán výroby daných dílců a jsou k dispozici technologické postupy jejich výroby. Při výpočtu je bilancován potřebný roční časový fond  $F_{po}$  pro zhotovení výrobního programu s disponibilní kapacitou strojů a pracovníků. [4]

### 4.7.2 Pracnost

Pracnost jednoho kusu se počítá dle vzorce 4.1.

Čas kusový - pracnost  $t_k$  [4]:

$$t_k = t_{ac} + t_{bc}/d \quad [Nmin/ks] \quad (4.1)$$

kde

$t_{ac}$  čas jednotkový s přírážkou času směnového [Nmin/ks],

$t_{bc}$  čas dávkový s přírážkou času směnového [Nmin],

$d$  velikost dávky [ks].

### 4.7.3 Roční časový fond

Pro určení potřebného množství pracovišť, zařízení a dělníků je nutné znát jejich časový fond, tedy jaký čas mohou v roce pracovat. Při výpočtech se vychází z kalendářního roku a počtu pracovních dnů.

Roční časový efektivní fond ručního pracoviště odpovídá celkovému ročnímu počtu pracovních hodin při dané směnnosti. U strojních pracovišť je tento časový fond krácen o dobu předpokládaných odstávek z důvodu plánované údržby nebo neočekávaných poruch. Časový fond pracovníka se krátí o průměrnou délku dovolené a o tzv. Neplánovanou absenci (nemoc atd.)

Z důvodu jednotné úpravy pracovní doby s státních svátků jsou roční časové efektivní fondy téměř stálé. [4]

### 4.7.4 Potřebný počet výrobních zařízení, pracovníků

Potřebný počet výrobních zařízení či dělníků lze zjistit z požadovaného ročního časového fondu  $F_{po}$  a disponibilního ročního časového efektivního fondu  $F_{ef}$  zařízení či pracovníka dle vzorce 4.2.

Potřebný počet výrobních zařízení či pracovníků  $n_p$ :

$$n_p = F_{po} / F_{ef} \quad [ks] \quad (4.2)$$

kde

$F_{po}$  potřebný roční časový fond [Nh],

$F_{ef}$  roční časový efektivní fond jednoho zařízení (pracovníka) [Nh/ks].

### 4.7.5 Využití zařízení

Využití zařízení či pracoviště lze vypočítat dle vzorce 4.3.

Využití zařízení  $\eta$ :

$$\eta = n_p / n_z \cdot 100\% \quad [\%] \quad (4.3)$$

kde

$n_p$       potřebný počet zařízení [ks],

$n_z$       zvolený počet zařízení [ks].

Dlaší způsoby kapacitních propočtů jsou dostupné v literatuře [4].

## 4.8 Ekonomické hodnocení investice

### 4.8.1 Úvod

Postatou hodnocení investic je porovnání vynaloženého kapitálu (výdajů na investici) s výnosy (příjmy), které investice přinese. Výnosem investice je přírůstek zisku (zisku po zdanění) a přírůstek odpisů, jež se vrací podniku v ceně prodaných výrobků. Přijatelná je investice, jejíž výnosy převýší náklady na její pořízení. Vzhledem k délce časového období je nutné zvážit působení faktoru času na hodnotu peněz.

Dalšími kritérii pro hodnocení efektivnosti investic může být jejich rizikovost a stupeň likvidity.

Hodnocení investic sestává z těchto kroků:

- určení jednorázových nákladů na pořízení investice,
- odhad budoucích výnosů,
- odhadnutí nákladů na kapitál na pořízení investice,
- aplikace metod pro ekonomické hodnocení investice.

[9]

### 4.8.2 Současná hodnota očekávaných výnosů

Výpočet současné hodnoty očekávaných výnosů je prováděn metodou diskontování dle vzorce 4.4.

Současná hodnota výnosu v roce  $t$  [9]:

$$SHV_t = V_t / (1 + K)^t \text{ [Kč]} \quad (4.4)$$

kde

$SHV_t$  současná hodnota ročních výnosů v daném roce [Kč],

$V_t$  očekávaný roční výnos investice [Kč],

$K$  sazba kapitálových nákladů na investici (podnik. diskontní míra) [%],

$t$  rok, pro nějž se současná hodnota očekávaných výnosů počítá [-].

### 4.8.3 Hodnocení efektivnosti investice metodou výnosnosti investic

Výnosnost investice udává tzv. ukazatel výnosnosti investice ROI.

Výnosnost investice ROI [9]:

$$ROI = Z_r / IN \text{ [-]} \quad (4.5)$$

kde

$Z_r$  průměrný čistý roční zisk plynoucí z investice [Kč],

$IN$  investiční náklady [Kč].

### 4.8.4 Hodnocení efektivnosti investice metodou doby splácení

Doba splácení je období, během něhož tok výnosů přinese hodnotu rovnou nákladům na investici.

Doba splácení DS [9]:

$$DS = IN / CF_R \text{ [rok]} \quad (4.6)$$

kde

$CF_R$  roční cash flow [Kč/rok],

$IN$  investiční náklady [Kč].

S klesající dobou splácení roste likvidita splácení, což znamená, že investice váže kapitál kratší dobu.

#### 4.8.5 Hodnocení efektivnosti investice metodou čisté současné hodnoty

Čistá současná hodnota investice odpovídá rozdílu mezi současnou hodnotou očekávaných výnosů a náklady na investici, případně sníženými o zůstatkovou hodnotu investice na konci období, které je hodnoceno. [9]

Čistá současná hodnota investice ČSH [9]:

$$ČSH = SHV_c + ZH - IN \text{ [Kč]} \quad (4.7)$$

kde

$SHV_c$  celková současná hodnota výnosů v letech 1 až n [Kč],

$IN$  investiční náklady [Kč],

$ZH$  zůstatková hodnota investice na konci hodnoceného období [Kč].

#### 4.8.6 Hodnocení efektivnosti investice metodou vnitřního výnosového procenta

Vnitřní výnosové procento odpovídá takové úrokové sazbě, pro niž se celkové současné výnosy z investice rovnají investičním nákladům.

Podmínka pro výpočet vnitřního výnosového procenta [9]:

$$SHV_c = IN \text{ [Kč]} \quad (4.8)$$

kde

$SHV_c$  celková současná hodnota výnosů v letech 1 až n [Kč],

$IN$  investiční náklady [Kč].

[9]



## **PŘÍPADOVÁ STUDIE**

## 5 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY OHÝBANÝCH DÍLCŮ

Výrobu v podniku lze označit za středně těžkou, sériovou. Stroje jsou v dané hale uspořádány do technologicky shodných celků. Je zde zaveden třísměnný provoz.

Tato práce se zabývá výrobou osmi ohýbaných dílců. Kopie jejich výkresové dokumentace jsou součástí přílohy. Přehled dílců je uveden v tabulce tab. 5.1. Kopie technologických postupů nelze zveřejnit, proto je přiložen pouze stručný přepis technologických postupů jednotlivých dílců.

Tab. 5.1 Přehled dílců [15]:

název dílce	hmotnost [kg]	spotřeba materiálu [kg/ks]	pracnost jednoho ks [Nmin]	plánovaná roční kapacita [ks]
zadní stěna	11,25	23,55	3,7	4900
nosník baterie	27,4	47,1	2,3	7350
příčný nosník zadní	27,9	35,33	2,3	7350
nosník přední	8,8	12,5	5,3	7350
příčník I	11,71	13,19	1,17	12740
příčník II	11,8	13,19	1,08	29400
příčník - závěs vleku	11,75	12,36	1,06	36750
plášť levý	14,5	20,19	2,96	3920

Dílce jsou vyráběny z materiálu DIN QSTE 380 TM, což je speciální materiál určený k tváření ohýbáním. Pro klasické materiály je charakteristický určitý průběh vláken daný při jejich výrobě. To s sebou přináší riziko vzniku rozdílného směru vláken při řezání na laserovém centru, neboť dílce řezané z jedné tabule plechu na ní nejsou orientovány shodně. Tento problém při použití daného materiálu odpadá. Základní parametry materiálu udávané výrobcem jsou uvedeny v tabulce tab. 5.2.

Tab. 5.2 Parametry materiálu QSTE 380 TM [15]:

minimální mez kluzu $R_{eH}$ [MPa]	pevnost v tahu $R_m$ [MPa]	tažnost $A_5$ [%]
380	450 až 590	23

Plech pro jejich výrobu jsou na základě požadavku vyskládněny z regálového skladu automatickým zakladačem a dodány k laserovému centru. Na tomto pracovišti jsou z plechových tabulí vyřezány polotovary určené pro následné ohýbání.

Odpadový materiál je od laserového centra odvážen na šrotiště vně výrobní haly.

Výpalky z plechů jsou obsluhou laseru skládány na dřevěné palety a odváženy manipulanty pomocí vysokozdvížných vozíků k pracovišti s ohraňovacím lisem, tři z polotovarů jsou ještě před tím odvezeny na

příslušné pracoviště za účelem vykonání jiných technologických operací (vrtání, rovnání, lisování).

Celá současná produkce dílců je ohýbána na pracovišti s ohraňovacím lisem LVD PPEB320, obr. 5.1, jehož základní parametry jsou uvedeny v tabulce tab. 5.3. Pracoviště při výrobě těchto dílců obsluhuje vždy jeden pracovník. Obsluha je čistě ruční, nenachází se zde žádné mechanizační ani automatizační prvky. Pracovník odebírá polotovary ručně z palet, následně provádí ohyb a díly po ohýbání ukládá opět na připravené volné dřevěné palety. Palety mohou být na pracovišti s ohraňovacím lisem umísťovány na speciální stoly s regulovatelnou výškou, obr. 5.2. Tímto způsobem je možné snížit namáhavost práce.

Orientační výkres pracoviště je součástí přílohy. Umístění pracoviště v prostoru výrobní haly je vyznačeno ve výkresové dokumentaci materiálových toků, která je součástí přílohy též.

Tab. 5.3 Parametry ohraňovacího lisu LVD PPEB320 [15]

ohraňovací lis LVD	přítlačná síla [kN]	3200
	délka ohraňování [mm]	4500
	šířka stolu [mm]	200
	vzdálenost stůl - beran [mm]	670
	vzdálenost mezi stojany stroje [mm]	3820
	rychlost v ose Y - rychlý chod [mm/s]	100
	rychlost v ose Y - pracovní chod [mm/s]	15
	rychlost zpětného chodu [mm/s]	130
	rychlost v ose X [mm/s]	250
	rychlost v ose R [mm/s]	50
	poziční odchylka osy Y [mm]	0,01
	poziční odchylka osy X [mm]	0,01
	poziční odchylka osy R [mm]	0,1
	zdvih v ose Y [mm]	400
	délka pojezdové dráhy v ose X [mm]	1000
	délka pojezdové dráhy v ose R [mm]	200
	operační systém	LVD
	maximální hlučnost [dB]	neuvedeno
	potřebný příkon [kW]	37
	potřebný napájecí tlak stlačeného vzduchu [MPa]	0,6
	rozměry ohraňovacího lisu (délka x šířka x výška-montážní) [mm]	4900 x 2300 x 3000
	hmotnost [kg]	26000



Obr. 5.1 Pracoviště s ohraňovacím lisem LVD – ilustrační obr.



Obr. 5.2 Výškově stavitelný stůl

Tři z dílců jsou po ohýbání odváženy přímo na lakovnu. Palety s ostatními naohýbanými dílci jsou následně odváženy k pracovištím se svařovacími roboty vybavenými příslušnými přípravky. Odtud tři svařence směřují na brusírnu a kontrolu, na niž přímo navazuje expedice příslušných svařenců do lakovny. Jeden svařenec směřuje na brusírnu a následně přímo do lakovny.

## **6 ZVAŽOVANÉ VARIANTNÍ NÁVRHY**

### **6.1 Úvod**

Jsou zvažovány tři rozdílné varianty řešení nového pracoviště. První je z pohledu investičních a provozních nákladů méně náročnou alternativou ve formě pneumatického manipulátoru Dalmec s ručním řízením, který částečně zbavuje obsluhu fyzické námahy při ohýbání těžších dílců. Další dvě se ubírají cestou plné automatizace ve formě robotu obsluhujícího ohraňovací lis od společností Antil a Trumpf.

Manipulátor Dalmec byl vybrán na základě pozitivních zkušeností s jeho uplatněním u obchodních partnerů společnosti Agrostroj Pelhřimov, a.s.. V případě jeho pořízení by byl agregován se současným ohraňovacím lisem LVD.

Vzhledem k tomu, že stávající produkce ohýbaných dílců je realizována na pracovišti s ohraňovacím lisem LVD, jako další možnost se logicky nabízí dovybavení tohoto pracoviště robotem Antil, neboť společnost Antil se společností LVD do jisté míry spolupracuje a jejich zařízení jsou plně kompatibilní.

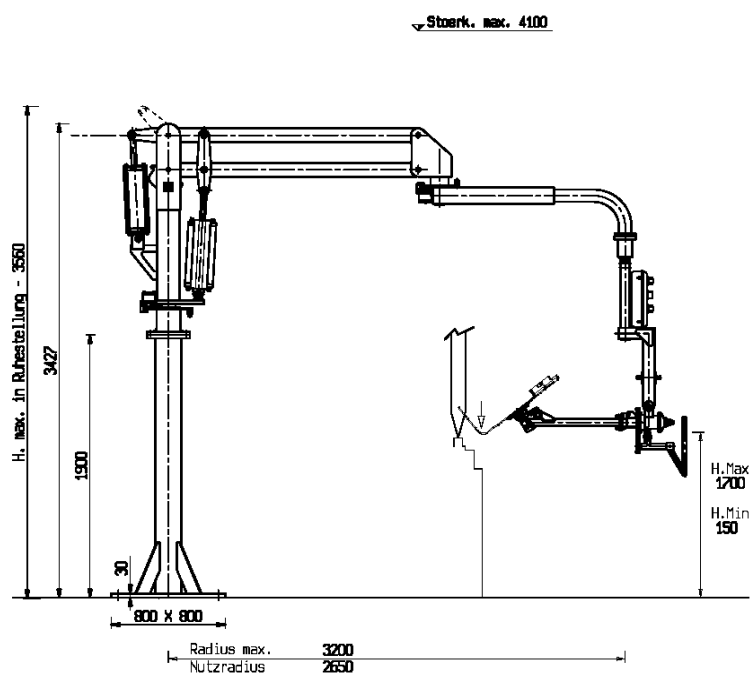
Třetí varianta – pořízení kompletního pracoviště s ohraňovacím lisem a obsluhujícím robotem od společnosti Trumpf - byla zvolena na základě analýzy nabídky dodavatelů výrobních zařízení, s nimiž Agrostroj dlouhodobě a úspěšně spolupracuje. (V nabídce ostatních současných dodavatelů výrobních zařízení podobné kompletní pracoviště není.) Při volbě třetí varianty se předpokládá umístění pracoviště na odpovídající volné ploše v dané výrobní hale, která je nyní využívána jako plocha skladovací. Umístění pracoviště je patrné z výkresové dokumentace materiálových toků, která je součástí přílohy.

Vyšší forma automatizace není zvažována zejména z důvodu velmi vysokých finančních nároků a prostorového omezení při umísťování zařízení v prostoru dané výrobní haly.

## 6.2 Ekonomická varianta – Dalmec Partner

### 6.2.1 Základní popis zařízení

Jedná se o pneumatický manipulátor s ručním řízením, nezávislý na obsluhovaném ohraňovacím lisu, schéma viz. obr.5.4.



Obr. 6.1 Schéma pneumatického manipulátoru Dalmec s ručním řízením [12]

Předpokládá se instalace tohoto manipulátoru ke stávajícímu ohraňovacímu lisu LVD PPEB320 (případně doplnění některého dalšího pracoviště tímto zařízením - dle zjištění potřebného počtu zařízení na základě kapacitních propočtů). Jeho funkce je na obsluhovaném lisu zcela nezávislá, prostředníkem mezi manipulátorem a lisem je obsluhující pracovník.

### 6.2.2 Popis funkce zařízení

Obsluha ohraňovacího lisu tímto manipulátorem pomocí jednotky se savkami shora uchytí plech připravený na paletě a přemístí jej k ohraňovacímu lisu. Zde se provede první ohyb, následné ohyby se provádí horizontálním otáčením plechu. Pro přehmátnutí na obrácenou stranu plechu je nutné předchozí uložení na odkládací konstrukci a opětovné uchycení z obrácené strany. To platí i při provádění dalších ohybů. Plech je vždy potřeba odložit na odkládací konstrukci a následně podle umístění ohybu uchytit. Využití manipulátoru Dalmec vyžaduje dostatek volného prostoru. Naohýbané plechy se odkládají na sebe, opět na dřevěnou paletu.

[12]

### 6.2.3 Parametry zařízení

Parametry zařízení dostupné z nabídky dodavatele zařízení jsou uvedeny v tabulce tab. 6.1..

Tab. 6.1 Parametry pneumatického manipulátoru Dalmec Partner [12]

zpracovávané plechy	délka [mm]	400 až 1650
	šířka [mm]	500 až 1000
	tloušťka [mm]	8 až 15
	hmotnost [kg]	do 70
manipulátor	maximální rádius vztažený na osu kloubu úchopného zařízení [mm]	2800
	pracovní rozsah - výška spodní hrany dílce nad podlahou [mm]	150 až 1500
	rozsah otáčení sloupové jednotky [°]	360
	rozsah otáčení výkyvného výložníku [°]	300
	požadovaná výška pracovního prostoru [mm]	nad 5000
	požadovaná plocha pracoviště (vč. ohr. lisu) [m <sup>2</sup> ]	54
	rychlost manipulace	závisí na obsluze zařízení
	hmotnost zařízení [kg]	cca 350
	pracovní médium	čistý a suchý stlačený vzduch
	potřebný napájecí tlak pracovního média [MPa]	0,7
	spotřeba pracovního média v klidovém stavu [l/min]	5
	spotřeba pracovního média v provozním stavu [l/min]	40
	maximální hlučnost [dB]	70

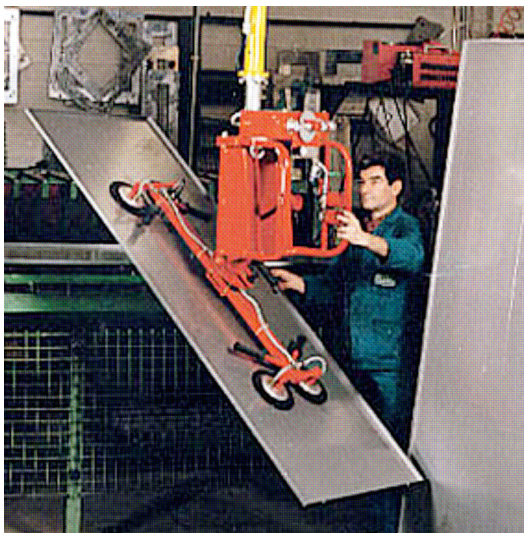
#### Standardní výbava manipulátoru:

- nivelační jednotka zabezpečující ochranu proti bočnímu přetočení výložného ramena,
- jednotka na ošetření stlačeného vzduchu vybavená filtrem a odlučovačem vody,
- jednotka ovládající vyvažování zařízení,
- brzdící jednotka zabezpečující proti nežádoucím pohybům zařízení,
- osvědčení o shodě s EU normami.

[12]

#### 6.2.4 Úchopné zařízení

Manipulované plechy musí být dokonale čisté a hladké. V úchopném zařízení, obr. 6.2, je integrován adaptér pro rychlou výměnu sací traverzy. Vakuum je vytvářeno Venturi dýzou. Bezpečné uchopení plechů je zabezpečeno zařízením pro kontrolu vytvoření vakua. [12]



Obr. 6.2 Úchopné zařízení [14]

#### 6.2.5 Investiční náklady

Předpokládané investiční náklady na pořízení pneumatického manipulátoru Dalmec s ručním řízením se dle nabídky dodavatele pohybují ve výši 704500 Kč. [12]



## 6.3 Plně automatizovaná varianta – ohraňovací robot Antil APR50L

### 6.3.1 Základní popis zařízení

Jedná se o plně automatizovaný robot obsluhující ohraňovací lis, obr. 6.3. Pracovník zde plní pouze funkci přípravnou při chystání výroby nové dávky dílců, jinak má na starost pouze dozor, případně programování, pokud toto neprovádí jiný pracovník. Předpokládá se využití robotu společně se stávajícím ohraňovacím lisem LVD PPEB320. Výhodou robotu je, že se pohybuje po horizontálním nosníku a neblokuje prostor před ohraňovacím lisem. Ten tedy lze využít i pro ruční ohýbání např. Při poruše robotu.



Obr. 6.3 Robot Antil APR50L [17]

### 6.3.2 Popis funkce zařízení

Plechý jsou na dopraveny na dřevěné paletě na předem určené místo, důležité je důkladné přiražení k dorazům umístěným v prostoru pracoviště. Robot nedisponuje čidly zjišťujícími skutečné umístění palety s plechy. V případě, že je paleta umístěna nepřesně, hrozí buď vyrobení zmetku nebo i havárie zařízení. Robot uchycuje plech pomocí jednotky se savkami, poté jednotka k tomu určená provede kontrolu manipulovaného plechu, aby nedošlo k manipulaci s více plechy zároveň. Následně je plech ohýbán dle programu. Za účelem přehmátnutí na druhou stranu plechu je nutné jej odložit na jednotku k tomu určenou. Naohýbané plechy se odkládají do stohu, opět na dřevěnou paletu, způsobem zvoleným při programování. [13]

### 6.3.3 Parametry zařízení

Parametry zařízení dostupné z nabídky dodavatele zařízení jsou uvedeny v tabulce tab. 6.2.

Tab. 6.2 Parametry ohraňovacího robotu Antil APR50L [13]

zpracovávané plechy	délka [mm]	do 2500
	šířka [mm]	do 2500
	tloušťka [mm]	neuvedeno
	hmotnost [kg]	do 50
manipulátor	rozsah pohybu v ose X [mm]	8000
	rozsah pohybu v ose Y [mm]	1600
	rozsah pohybu v ose Z [mm]	1500
	výška umístění horizontálního nosníku [mm]	2300
	požadovaná plocha pracoviště (vč. ohr. lisu) [m <sup>2</sup> ]	80
	rychlost manipulace	dle programu, mezní hodnoty neudány
	pracovní médium	čistý a suchý stlačený vzduch
	potřebný napájecí tlak pracovního média [MPa]	0,6
	spotřeba pracovního média v provozním stavu [l/min]	neuvedeno
	operační systém	na bázi Windows Xpe
	maximální hlučnost [dB]	neuvedeno
	příkon el. proudu [kW]	6

**Standardní výbava robotu:**

- rozhraní k danému ohraňovacímu lisu,
- zařízení pro kontrolu plechu (proti manipulaci s více plechy zároveň),
- základní program,
- zadní čidla pro ohraňovací lis (kontrola dorazu),
- standardní úchopná jednotka se savkami,
- světelná závora,
- návody, osvědčení o shodě s EU normami.

**6.3.4 Investiční náklady**

Předpokládané investiční náklady na pořízení ohraňovacího robotu Antil APR50L se dle nabídky dodavatele pohybují ve výši 8200000 Kč [16].

## 6.4 Plně automatizovaná varianta – ohraňovací robot Trumpf BendMaster s ohraňovacím lisem Trumpf TruBend 5230

### 6.4.1 Základní popis zařízení

Jedná se o plně automatizovaný robot v kombinaci s ohraňovacím lisem téže značky, obr. 6.4. Pracovník obdobně jako u robotu Antil plní funkci přípravnou při chystání výroby nové dávky dílců, jinak má na starost pouze dozor, předpokládá se programování jiným pracovníkem. V případě zvolení této varianty bude zakoupen robot společně s některým ze stávajících ohraňovacích lisů. Robot lze dočasně vyřadit z činnosti a ohraňovací lis využít i pro ruční ohýbání, nicméně prostor pracoviště je částečně blokován pojezdovou dráhou robotu. U této varianty dojde k přeskupení ohýbacích operací daných dílců na nově vzniklé pracoviště vybavené tímto robotem. Uvolněné kapacity původního ohraňovacího lisu budou využity pro výrobu nových dílců, které budou v budoucnu zařazeny do výrobního programu. Dojde tedy k poměrně velikému nárůstu celkových výrobních kapacit v oblasti ohýbání dílců.



Obr. 6.4 Automatizované pracoviště Trumpf [11]

### 6.4.2 Popis funkce zařízení

Plechý jsou na pracoviště dopraveny na dřevěné paletě na předem určené místo. Vzhledem k tomu, že je robot vybaven optickým senzorem pro zjištění skutečné polohy plechu, je možné umístit plechy v toleranci cca 15 mm v každém směru. Robot nejprve zjistí skutečnou polohu, porovná ji s polohou předem naprogramovanou a v rámci možností se přizpůsobí aktuálnímu stavu. V případě, že polohová tolerance není splněna, činnost zařízení je zastavena. Robot dále disponuje jednotkou zjišťující množství zároveň odebraných plechů fungující na základě kontroly podtlaku nutného k vyvinutí vakua nutného pro

uchopení plechu. Tím je vyloučena možnost havárie v důsledku odebrání více plechů současně.

Po kontrole skutečné polohy plechu je plech uchopen pomocí adaptéru se savkami a ohýbán dle programu. V případě nutnosti přehmátnout na druhou stranu plechu je nutné jej odložit na podpěry na čele ohraňovacího lisu. Robot plech uchytí z druhé strany a pokračuje v ohýbání. Úhel ohybu je kontrolován senzorem integrovaným v ohybníku lisu. Při zjištění nedostatečného ohnutí je provedena dodatečná korekce ohybu. To zaručuje vysokou přesnost ohýbání.

Naohýbané plechy jsou odkládány do stohu, opět na dřevěnou paletu, způsobem zvoleným při programování.

Nezanedbatelnou výhodou je software umožňující nejen offline programování ohraňovacího lisu i robotu, ale i simulaci provozu zařízení v podobě jeho vizualizace, čímž je prakticky vyloučena havárie v důsledku špatného naprogramování. Pomocí daného softwaru lze také odlatit rychlosti pohybů robotu, způsob odkládání naohýbaných plechů na paletu atd. [11]

### 6.4.3 Parametry zařízení

#### **Základní výbava ohraňovacího lisu:**

- svařovaná, celočelová konstrukce rámu stroje, žíhaná ke sníženému pnutí, dva postranní stojany, stůl, spojovací nosníky,
- sféricky zavěšený beran,
- elektrohydraulický pohon beranu, integrovaná kompenzace odpružení,
- nízkohlučné vysokotlaké zubové čerpadlo hydrauliky,
- CNC řízený zadní čtyřosý doraz s plynule nastavitelnou hloubkou a výškou dorazu pro vysokou přesnost, asymetrické, CNC řízené nastavení palců,
- zabezpečení formou bezpečnostního odpojení, úderového tlačítka nouzového vypnutí, kontrola dojezdové dráhy beranu při spuštění stroje, optoelektrické zabezpečení,
- příprava pro BendMaster - strojní příprava TruBendu pro napojení BendMasteru.

#### **Základní výbava robotu:**

- konstrukce manipulátoru z Al slitiny,
- pojezdová dráha délky 4000 mm, pojezdová dráha 2500 mm, možno prodloužit o segmenty po 2000 mm až na celkovou délku dráhy 8000 mm,
- čidlo polohy plechu rozeznávající obrys plechu a výšku stohu,
- zadní dorazový palec standardně vybaven čidlem kontrolujícím správné dosednutí plechu k dorazu,
- integrovaný vakuový zdroj generující potřebné vakuum pro savky,
- pohony elektrickými servomotory s převodovkou,
- zabezpečení formou bezpečnostního odpojení, úderového tlačítka nouzového vypnutí, kontrola dojezdové dráhy beranu při spuštění stroje, celé pracoviště zabezpečeno ochrannou klecí, přístupové dveře opatřeny bezpečnostními spínači.

Robot může být na přání doplněn úchopnou jednotkou s kleštěmi nebo magnetem, jež lze použít jako náhradu za savkový adaptér v případech, kdy nelze díl uchopit vakuem prostřednictvím savek (např. z důvodu přítomnosti příliš mnoha otvorů v tělese dílce). Tyto úchopné jednotky však umožňují ohýbat dílce s hmotností pouze do cca 2 kg.

Parametry zařízení dostupné z nabídky dodavatele zařízení jsou uvedeny v tabulce tab. 6.3. a tab. 6.4. [11]

Tab. 6.3 Parametry ohraňovacího lisu Trumpf TruBend 5230 [11]

ohraňovací lis TRUMPF	přítlačná síla [kN]	2300
	délka ohraňování [mm]	3230
	možnost překřížení beranu [mm]	+ -10
	šířka stolu [mm]	120
	pracovní výška při výšce nástroje 100 mm [mm]	1050
	rychlost v ose Y - rychlý chod [mm/s]	220
	rychlost v ose Y - pracovní chod [mm/s]	0,1 až 10
	rychlost zpětného chodu [mm/s]	220
	rychlost v ose X [mm/s]	1000
	rychlost v ose R [mm/s]	330
	poziční odchylka osy Y [mm]	0,005
	poziční odchylka osy X [mm]	0,04
	poziční odchylka osy R [mm]	0,08
	zdvih v ose Y [mm]	445
	délka pojezdové dráhy v ose X [mm]	600
	délka pojezdové dráhy v ose R [mm]	250
	operační systém	na bázi Windows Xpe
	maximální hlučnost [dB]	neuvedeno
	potřebný příkon [kW]	42
	potřebný napájecí tlak stlačeného vzduchu [MPa]	0,5 až 0,7
	rozměry ohraňovacího lisu (délka x šířka x výška - montážní) [mm]	4270 x 1955 x 3000
	hmotnost [kg]	16000

Tab. 6.4 Parametry ohraňovacího robotu Trumpf BendMaster [11]

zpracovávané plechy	max. délka [mm]	2000
	max. šířka [mm]	1000
	min. tloušťka [mm]	0,7
	max. hmotnost [kg]	40
robot	max. výška zakládaného stohu vč. palety [mm]	750
	max. výška vykládaného stohu vč. palety [mm]	1000
	délka pojezdové dráhy [mm]	8000
	délka pojezdu [mm]	6500
	přesnost polohování v ose Z (pojezdová dráha) [mm]	0,5
	celková přesnost polohování v rotačních osách [°]	0,5
	pracovní médium	čistý a suchý stlačený vzduch
	max. vyvinutý podtlak [MPa]	0,7
	max. spotřeba stlačeného vzduchu v provozním stavu [l/min]	500
	operační systém	Trumpf
	požadovaná plocha pracoviště (vč. ohr. lisu) [m <sup>2</sup> ]	74
	maximální hlučnost [dB]	neuveдено
	potřebný příkon [kW]	10
	potřebný napájecí tlak stlačeného vzduchu [MPa]	0,8
	rozměry potřebného místa (délka x šířka - při pojezd. dráze 4000 mm x výška) [mm]	6500 x 4500 x 3000
	hmotnost (při pojezdové dráze 4000 mm)[kg]	1190

#### 6.4.4 Investiční náklady

Předpokládané investiční náklady na pořízení ohraňovacího pracoviště skládajícího se z robotu Trumpf BendMaster a ohraňovacího lisu Trumpf TruBend 5230 se dle nabídky dodavatele pohybují ve výši 13370000 Kč

[11].

## 6.5 Shrnutí

Zatímco pneumatický manipulátor Dalmec a robot Antil lze kombinovat se stávajícími ohraňovacími lisy, robot Trumpf lze využít pouze v agregaci s ohraňovacím lisem téže značky. To s sebou proti prvním dvěma variantám přináší vyšší investiční nároky, na druhou stranu toto řešení přinese významné navýšení výrobních kapacit v oblasti ohýbání.

Pokud jde o náklady na pořízení a provoz, je manipulátor Dalmec jednoznačně nejvýhodnějším řešením. Při výběru zařízení je však nutné zvažovat i mnoho jiných aspektů, jako např. Výrobní kapacitu nebo kvalitu produkce, které jsou u tohoto řešení výrazně závislé na lidském činiteli a tedy jednoznačně nižší než u ostatních variant. Zhodnocení splnění jednotlivých hodnotících kritérií pro výběr optimální varianty je obsaženo v následující kapitole.



## 7 VYHODNOCENÍ VARIANTNÍCH NÁVRHŮ S VÝBĚREM OPTIMÁLNÍ VARIANTY

### 7.1 Způsob výběru optimální varianty

Hodnocení variantních návrhů a výběr optimální varianty je proveden na základě váhového hodnocení. Jednotlivým hodnotícím kritériím je přiřazena váha podle stupnice od 1 do 10 dle důležitosti kriteria., kde nejnižší důležitost kritéria znamená váhu 1 a naproti tomu nejvyšší důležitost váhu 10.

Bodové hodnocení je provedeno dle stupnice od 1 do 10 bodů, kde 1 bod znamená, že varianta prakticky nesplňuje dané kritérium, a 10 je nejlepší bodový zisk, který varianta dostává za splnění daného kriteria v maximální možné míře.

Bodové zisky jednotlivých variant podle míry splnění kritérií jsou následně vynásobeny vahami jednotlivých kritérií a je provedena sumace těchto součinů pro každou z variant. Varianta s nejvyšší sumou těchto součinů je považována za nejoptimálnější ze zvažovaných variant.

### 7.2 Kritéria pro výběr optimální varianty

Kritéria byla volena dle potřeb podniku na základě konzultace s technickým ředitelem Ing. Vlastislavem Martínkem.

Kritéria pro výběr optimální varianty jsou tato:

- flexibilita zařízení (jeho přizpůsobitelnost případnému novému výrobnímu programu, zejména pokud jde o hmotnost dílců...) [-],
- hodinová výrobní kapacita (vztahená na reprezentanta předpokládaného výrobního programu) [ks/h],
- výše investičních nákladů [Kč],
- náklady na servis a údržbu pracoviště (včetně ohraňovacích lisů) [Kč/rok],
- dostupnost servisu [h],
- prostorová náročnost [ $m^2$ ],
- fyzická náročnost obsluhy [-].



### 7.3 Kvantitativní vyjádření míry plnění jednotlivých kritérií

Tab. 7.1 Míra plnění kritérií variantou Dalmec

kriterium	jednotka	Dalmec
flexibilita zařízení z pohledu maximální hmotnosti a tvarové složitosti ohýbaných dílců	[-]	Maximální hmotnost ohýbaného dílce je 70 kg, což je pro současné potřeby podniku vyhovující. Naproti tomu je manipulátor vybaven pouze savkovou jednotkou pro úchop dílců a je tedy omezeno jeho využití pro tvarově složitě a málo rozměrné dílce nebo dílce s příliš vysokým počtem otvorů.
hodinová výrobní kapacita vztahená na reprezentanta	[ks/h]	11
investiční náklady	[Kč]	720000
dostupnost servisu	[h]	48
roční náklady na servis a údržbu pracoviště (vč. ohraňovacího lisu)	[Kč]	cca 61000 (roční náklady na údržbu samotného manipulátoru se pohybují v řádech stovek korun)
prostorová náročnost pracoviště	[m <sup>2</sup> ]	54
fyzická náročnost obsluhy	[-]	Obsluha manipulátoru je ve srovnání s ostatními variantami fyzicky náročná. (nenáročná na kvalifikaci)

Tab. 7.2 Míra plnění kritérií variantou Antil

kriterium	jednotka	Antil
flexibilita zařízení z pohledu maximální hmotnosti a tvarové složitosti ohýbaných dílců	[-]	Maximální hmotnost ohýbaného dílce je 50 kg, což je pro současné potřeby podniku vyhovující. Robot je vybaven pouze savkovou jednotkou pro úchop dílců a je tedy omezeno jeho využití pro tvarově složitě a málo rozměrné dílce nebo dílce s příliš vysokým počtem otvorů.
hodinová výrobní kapacita vztahená na reprezentanta	[ks/h]	22
investiční náklady	[Kč]	8200000
dostupnost servisu	[h]	24
roční náklady na servis a údržbu pracoviště (vč. ohraňovacího lisu)	[Kč]	cca 70000
prostorová náročnost pracoviště	[m <sup>2</sup> ]	80
fyzická náročnost obsluhy	[-]	Obsluha manipulátoru není fyzicky náročná (vyšší nároky na kvalifikaci)

Pozn.: Reprezentantem dané skupiny dílců je dílec "plášť", který splňuje podmínky pro výběr reprezentanta z dané skupiny – tzn. jeho hmotnost není nižší než polovina hmotnosti nejtěžšího dílce ve skupině a zároveň jeho hmotnost nepřesahuje dvojnásobek hmotnosti nejlehčího dílce v dané skupině. Materiál dílců je shodný a technologické postupy podobné. Hodinová výrobní kapacita byla ověřena u výrobců zařízení, v případě pneumatického manipulátoru Dalmec je samozřejmě ovlivněna rychlostí obsluhy, dané číslo je platné pro zaučenou obsluhu.

Tab. 7.3 Míra plnění kritérií variantou Trumpf

kriterium	jednotka	Trumpf
flexibilita zařízení z pohledu maximální hmotnosti a tvarové složitosti ohýbaných dílců	[-]	Maximální hmotnost ohýbaného dílce je 40 kg, což je pro současné potřeby podniku vyhovující. Robot lze dovybavit jednotkami pro úchop dílců pomocí kleští nebo magnetu a lze jej tedy využít pro tvarově složitě a málo rozměrné dílce nebo dílce s příliš vysokým počtem otvorů.
hodinová výrobní kapacita vztažená na reprezentanta	[ks/h]	25
investiční náklady	[Kč]	13370000
dostupnost servisu	[h]	8
roční náklady na servis a údržbu pracoviště (vč. ohraňovacího lisu)	[Kč]	cca 70000
prostorová náročnost pracoviště	[m2]	74
fyzická náročnost obsluhy	[-]	Obsluha manipulátoru není fyzicky náročná (vyšší nároky na kvalifikaci)

## 7.4 Váhové hodnocení variant

Tab. 7.4 Váhové hodnocení – ideální varianta a manipulátor Dalmec

		zvažovaná varianta			
		"ideální varianta" (1)		Dalmec (2)	
kritérium	váha kriteria	body	váhové hodnocení	body	váhové hodnocení
flexibilita zařízení z pohledu maximální hmotnosti a tvarové složitosti ohýbaných dílců	10	10	100	7	70
hodinová výrobní kapacita vztažená na reprezentanta	8	10	80	4	32
investiční náklady	7	10	70	9	63
dostupnost servisu	7	10	70	4	28
roční náklady na servis a údržbu pracoviště (vč. ohraňovacího lisu)	5	10	50	10	50
prostorová náročnost pracoviště	4	10	40	8	32
fyzická náročnost obsluhy	2	10	20	5	10
celkové váhové hodnocení			430		285
relativní plnění požadavků [%]			100		66,3
pořadí			-		3

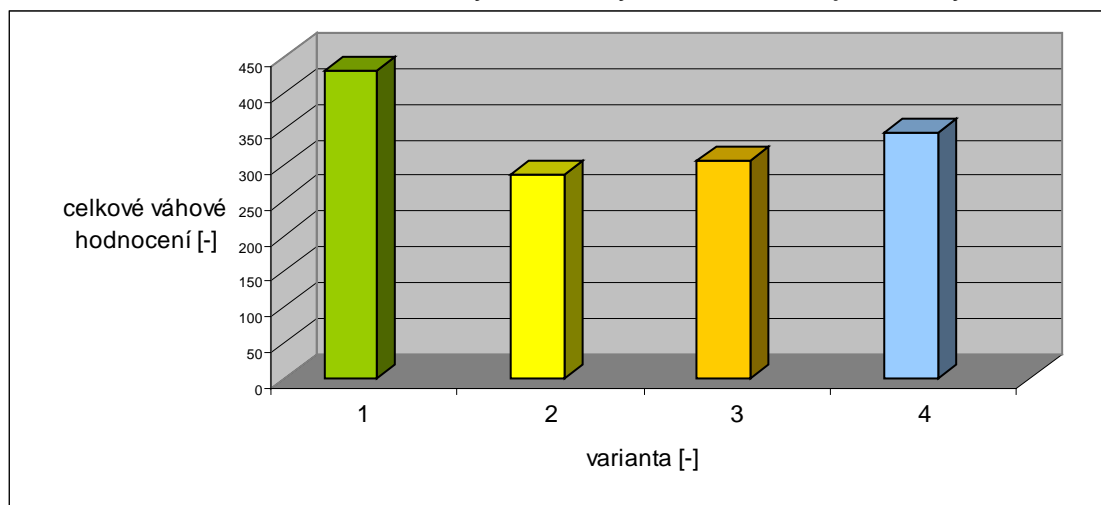
Tab. 7.4 Váhové hodnocení – ideální varianta a manipulátor Dalmec

		zvažovaná varianta			
		Antil (3)		Trumpf (4)	
kritérium	váha kriterií	body	váhové hodnocení	body	váhové hodnocení
flexibilita zařízení z pohledu hmotnosti a tvarové složitosti ohýbaných dílců	10	7	70	9	90
hodinová výrobní kapacita vztažená na reprezentanta	8	9	72	10	80
investiční náklady	7	4	28	2	14
dostupnost servisu	7	7	49	10	70
roční náklady na servis a údržbu pracoviště (vč. ohraňovacího lisu)	5	9	45	9	45
prostorová náročnost pracoviště	4	5	20	6	24
fyzická náročnost obsluhy	2	10	20	10	20
celkové váhové hodnocení		304		343	
relativní plnění požadavků [%]		70,7		79,8	
pořadí		2		1	

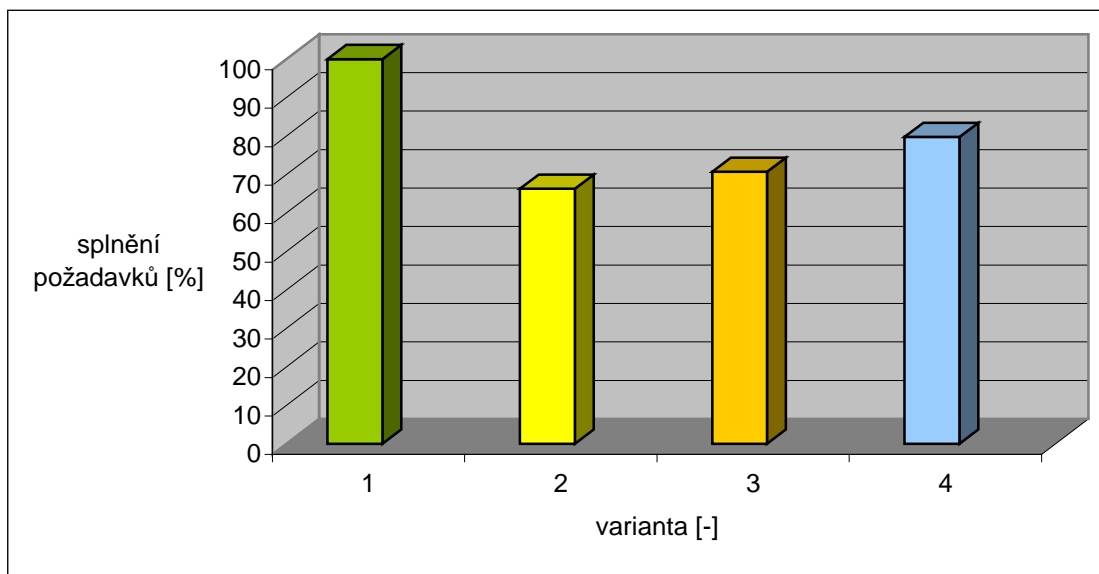
## 7.5 Grafické vyjádření výsledků váhového hodnocení

Grafické vyjádření výsledků váhového hodnocení zahrnuje graf 7.1 a 7.2.

Graf 7.1 Grafické srovnání celkových váhových hodnocení jednotlivých variant



Graf 7.2 Grafické vyjádření procentuálního vyjádření splnění požadavků jednotlivými variantami



## 7.6 Zhodnocení výsledků váhového hodnocení a výběr optimální varianty

Z výsledků váhového hodnocení variantních návrhů je zřejmé, že daná kritéria zohledňující požadavky společnosti Agrostroj Pelhřimov nejlépe splňuje variantní návrh zahrnující kompletní pracoviště složené z ohraňovacího lisu TruBend 5230 s robotem BendMaster od společnosti Trumpf. Tato varianta dosahuje plnění požadavků na 79,8%.

## 8 KAPACITNÍ PROPOČET

### 8.1 Roční časový efektivní fond

Předpokládá se celoroční dvousměnný provoz na pracovišti při pracovní době jedné směny 7,5 hodiny a obsluze jedním pracovníkem.

Kalendářní roční časový fond je krácen o 10% z důvodu celozávodní dovolené. Nemocnost není do výpočtu zahrnuta, neboť lze obsluhujícího pracovníka v případě onemocnění zastoupit proškoleným náhradníkem.

Servis a údržba zařízení jsou prováděny jednou ročně a to v době celozávodní dovolené, poruchy nejsou předpokládány. Z toho důvodu nejsou taktéž tyto položky do výpočtu ročního efektivního časového fondu zahrnuty.

Pro potřeby kapacitního propočtu je zvažován roční časový fond (F) pro rok 2009 při dvousměnném provozu a pracovní době jedné směny 7,5 hodiny, tedy  $F = 3765$  hodin.

Roční časový efektivní fond obsluhy i zařízení je:

$$F_{\text{ef}} = F \cdot 0,9 = 3765 \cdot 0,9 = 3388,5 \text{ [Nh]}$$

kde

F roční časový fond [Nh].

### 8.2 Potřebný roční časový fond

#### 8.2.1 Výpočet kusových časů

Výpočet kusových časů  $t_k$  (pracnosti) je proveden na základě známých hodnot kusových a dávkových časů a velikostí dávek pro jednotlivé dílce dle vzorce:

$$t_k = t_{\text{ac}} + t_{\text{bc}}/d \text{ [Nmin/ks]}$$

kde

$t_{\text{ac}}$  čas jednotkový s přírážkou času směnového [Nmin/ks],

$t_{\text{bc}}$  čas dávkový s přírážkou času směnového [Nmin],

d velikost dávky [ks].

Tab. 8.1 Kusové časy (pracnosti) jednotlivých dílců [15]

název dílce	čas jednotkový [Nmin/ks]	čas dávkový [Nmin]	velikost dávky [ks]	čas kusový [Nmin/ks]
zadní stěna	3,25	45	100	3,70
nosník baterie	2,00	45	150	2,30
příčný nosník zadní	2,00	45	150	2,30
nosník přední	5,00	45	150	5,30
příčník I	1,00	45	260	1,17
příčník II	1,00	45	600	1,08
příčník - závěs vleku	1,00	45	750	1,06
plášť levý	2,40	45	80	2,96

Kusové a dávkové časy byly ověřeny výrobcem zařízení na základě požadavků společnosti Agrostroj Pelhřimov, velikost dávek vychází z požadované velikosti produkce.

Přehled pracností jednotlivých dílců, požadovaných výrobních kapacit a potřebného ročního časového fondu je uveden v tabulce tab. 8.2.

Tab. 8.2 Potřebný roční časový fond [15]

název dílce	pracnost jednoho ks [Nmin]	plánovaná roční kapacita [ks]	potřebný roční čas. fond [Nmin]	potřebný roční čas.fond [Nh]
zadní stěna	3,70	4900	18130	302,17
nosník baterie	2,30	7350	16905	281,75
příčný nosník zadní	2,30	7350	16905	281,75
nosník přední	5,30	7350	38955	649,25
příčník I	1,17	12740	14945	249,08
příčník II	1,08	29400	31605	526,75
příčník - závěs vleku	1,06	36750	38955	649,25
plášť levý	2,96	3920	11613	193,55
celkem	/	/	188013	3133,55

Plánovaná roční kapacita zahrnuje případné zmetky. Z uvedené tabulky vyplývá, že potřebný roční časový fond je zhruba 3134 hodin.

### 8.3 Potřebný počet pracovišť

Potřebný počet pracovišť ( $n$ ) je vypočítán podělením potřebného ročního časového fondu ročním časovým efektivním fondem.

■ potřebný počet pracovišť:

$$n_p = F_{po} / F_{ef} = 3134 / 3388,5 = 0,925 \text{ [ks]}$$

kde

$F_{po}$  potřebný roční časový fond [Nh],

$F_{ef}$  roční časový efektivní fond jednoho pracoviště [Nh/ks].

Z výsledku je zřejmé, že bude postačovat jedno pracoviště.

■ využití pracoviště:

$$\eta = n_p / n_z \cdot 100\% = 0,925 / 1 \cdot 100\% = 92,5 \text{ [%]}$$

kde

$F_{po}$  potřebný počet pracovišť [ks],

$F_{ef}$  zvolený počet pracovišť [ks].

Využití pracoviště bude za naplnění předpokladů 92,5%, což je vysoké číslo. Neočekávané výpadky však lze pokrýt náhradní noční směnou, lze také doporučit zavedení pravidelné noční směny např. dva dny v týdnu.



## 9 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ INVESTICE

### 9.1 Základní podmínky zahrnuté do ekonomického hodnocení

Ekonomické hodnocení je provedeno metodou čisté současné hodnoty investice zohledňující časově proměnnou hodnotu peněz diskontováním výnosů z investice v jednotlivých letech.

Kalkulace nákladů v jednotlivých letech je počítána dle kalkulačního vzorce používaného ve společnosti Agrostroj Pelhřimov.

Pracoviště bude pořízeno z vlastních zdrojů při podnikové diskontní míře 5% a předpokládá se uvedení do běžného provozu k 1.1. daného roku.

Zisk je počítán ve výši 8% z úplných vlastních nákladů výkonu a následně zdaněn daní z příjmu ve výši 20% platnou pro právnické osoby v roce 2009.

Ekonomické hodnocení je provedeno na pět let, což odpovídá odpisové době zařízení. Lze předpokládat, že zůstatková hodnota investice nebude po pěti letech nulová. Dostatečně sofistikovaně lze zůstatkovou hodnotu investice odhadnout pouze na základě odborného znaleckého posudku. Ten však není k dispozici, proto je pro potřebu ekonomického hodnocení zvažována zůstatková hodnota zařízení ve výši 30% z pořizovací ceny, což je na základě analýzy cen odprodávaných zařízení obvyklá zůstatková hodnota podobných zařízení v podniku po pěti letech provozu.

[14]

### 9.2 Struktura jednotlivých nákladových položek

#### 9.2.1 Roční náklady na materiál

Tab. 9.1 Kalkulace ročních nákladů na materiál

název dílce	spotřeba materiálu [kg/ks]	požadovaná roční výroba [ks]	předpokládaná cena materiálu [Kč/kg]	roční náklady na materiál [Kč]
zadní stěna	23,55	4900	23	2654085
nosník baterie	47,1	7350	23	7962255
příčný nosník zadní	35,33	7350	23	5971691
nosník přední	12,5	7350	23	2113125
příčník I	13,19	12740	23	3864348
příčník II	13,19	29400	23	8917726
příčník - závěs vleku	12,36	36750	23	10450502
plášť levý	20,19	3920	23	1819943
celkem	/	/	/	43753674

Roční náklady na materiál jsou určeny součinem normovaných spotřeb materiálu pro jednotlivé dílce v [kg/ks], požadovaných ročních výrobních kapacit [ks] a ceny jednoho kilogramu materiálu [Kč/kg].

Současná nákupní cena materiálu se pohybuje okolo částky 18 Kč/kg. Vzhledem k tomu, že jsou ceny z důvodu současné hospodářské krize a s ní související nízké poptávky po materiálu na svém minimu, lze očekávat nárůst v příštích letech. Pro potřeby ekonomického zhodnocení je zjednodušeně

předpokládána průměrná nákupní cena během následujících pěti let ve výši 23 Kč/kg. Kalkulace ročních nákladů na materiál je uvedena v tabulce tab. 9.1. [14]

Celkové předpokládané roční náklady na materiál jsou **43753674 Kč** po zaokrouhlení na celé koruny.

### 9.2.2 Roční výše mzdových nákladů obsluhujících pracovníků

Obsluha pracoviště bude vyplácena hodinovou mzdou ve výši 70 Kč/h. Z bezpečnostních důvodů nelze na automatizovaném pracovišti uplatnit mzdou úkolovou, jak je u dělnických profesí ve strojírenství obvyklé. [14]

■ **celková roční výše mezd** - Je zjištěna vynásobením ročního časového efektivního fondu hodinovou mzdou. Ročnímu časovému efektivnímu fondu 3388,5 h odpovídá roční výše mezd **237195 Kč**.

■ **odvody z mezd** - Činí 34% z mezd (25% sociální pojištění, 9% zdravotní pojištění), tomu odpovídá částka **80646 Kč** po zaokrouhlení na celé koruny. [14]

### 9.2.3 Roční ostatní přímé náklady

Ostatní přímé náklady zahrnují:

- **náklady na elektrickou energii** – Celkovém příkonu pracoviště 52 kW, ceně elektrické energie 2,40 Kč/kWh a ročnímu časovému efektivnímu fondu 3388,5 h odpovídají roční náklady na elektrickou energii 422885 Kč.
- **odpisy investice** – Odpisy jsou rovnoměrné, investice spadá do 2. odpisové třídy, odpisová doba je 5 let. Daňové odpisy odpovídají odpisům účetním. Tomu odpovídají roční odpisy 2674000 Kč
- **servis a údržba** – Roční náklady na servis a údržbu zařízení jsou 70000 Kč.

[14]

Celkové roční ostatní přímé náklady jsou **3166885 Kč**.

### 9.2.4 Roční provozní režie

Provozní režie zahrnuje:

- **náklady střediska** – Do nákladů střediska jsou zahrnuty např. náklady na vodu, vytápění, mzdy režijních pracovníků a odvody z nich, ostatní služby atd. Celkové náklady střediska jsou přepočítány na [m<sup>2</sup>] a na základě známé plochy pracoviště je zjištěn předpokládaný podíl nákladů střediska připadající na dané pracoviště. Náklady střediska připadající na toto pracoviště jsou 882790 Kč.
- **režijní materiál** – 26300 Kč
- **ostatní** – 291411 Kč

[14]

Celková roční provozní režie je **1200501 Kč**



### 9.2.5 Roční vlastní náklady výroby

Roční vlastní náklady výroby jsou součtem ročních nákladů na materiál, ročních mezd obsluhujících pracovníků a odvodů z nich, ročních ostatních přímých nákladů, a provozní režie. Roční vlastní náklady výroby pracoviště jsou po zaokrouhlení na celé koruny **48438902 Kč**.

---

### 9.2.6 Roční správní a odbytová režie

Roční správní a odbytová režie je **306494 Kč**

[14]

### 9.2.7 Roční zásobovací režie

Zásobovací režie se počítá ve výši 9% z nákladů na nákup materiálu. Tomu odpovídá roční zásobovací režie **3937831 Kč** po zaokrouhlení na celé koruny.

[14]

### 9.2.8 Roční úplné vlastní náklady výkonu

Roční úplné vlastní náklady výkonu jsou součtem ročních vlastních nákladů výroby, roční správní a odbytové režie a roční zásobovací režie. Roční úplné vlastní náklady výkonu pracoviště jsou po zaokrouhlení na celé koruny **52683227 Kč**.

---

## 9.3 Roční zisk a roční zdaněný zisk – očekávaný roční výnos z investice

**Roční zisk** se počítá ve výši 8% ročních úplných vlastních nákladů výkonu. Tomu odpovídá částka po zaokrouhlení na celé koruny **4214658 Kč**. Zisk se následně snižuje o daň z příjmu, která je pro rok 2009 pro právnické osoby stanovena na 20%. **Zdaněný roční zisk** je tedy **3371727 Kč** po zaokrouhlení na celé koruny.

#### 9.4 Současná hodnota očekávaných výnosů v jednotlivých letech

Neboť se hodnota peněz v závislosti na čase mění, je nutné zohlednit jejich proměnnou hodnotu i při výpočtu současné hodnoty investice. Současná hodnota očekávaných výnosů v každém roce  $SHV_t$  je počítána dle vzorce:

$$SHV_t = V_t / (1 + k)^t \text{ [Kč]}$$

kde

$V_t$       očekávaný roční výnos investice [Kč],  
 $k$         sazba kapitálových nákladů na investici (podnik. diskontní míra) [%],  
 $t$         rok, pro nějž se současná hodnota očekávaných výnosů počítá [-].

Všechny výsledky jsou zaokrouhleny na celé koruny.

■ 1. rok:

$$SHV_1 = 3371727 / (1 + 0,05)^1$$

$$\mathbf{SHV_1 = 3211169 \text{ [Kč]},}$$

■ 2. rok:

$$SHV_2 = 3371727 / (1 + 0,05)^2$$

$$\mathbf{SHV_2 = 3058256 \text{ [Kč]},}$$

■ 3. rok:

$$SHV_3 = 3371727 / (1 + 0,05)^3$$

$$\mathbf{SHV_3 = 2912625 \text{ [Kč]},}$$

■ 4. rok:

$$SHV_4 = 3371727 / (1 + 0,05)^4$$

$$\mathbf{SHV_4 = 2773928 \text{ [Kč]},}$$

■ 5. rok:

$$SHV_5 = 3371727 / (1 + 0,05)^5$$

$$\mathbf{SHV_5 = 2641836 \text{ [Kč]}.}$$

### 9.5 Celková současná hodnota očekávaných výnosů investice

Celková současná hodnota očekávaných výnosů  $SHV_c$  je součtem současných hodnot očekávaných výnosů investice  $SHV_t$  za jednotlivé roky.

$$SHV_c = \sum_{t=1}^5 SHV_t \text{ [Kč]}$$

$$SHV_c = 3211169 + 3058256 + 2912625 + 2773928 + 2641836$$

$$SHV_c = 14597814 \text{ [Kč]}$$

### 9.6 Čistá současná hodnota investice

Čistá současná hodnota investice ČSH představuje rozdíl mezi součtem celkové současné hodnoty očekávaných výnosů investice  $SHV_c$  se zůstatkovou hodnotou zařízení ZH a investičními náklady IN.

$$ČSH = SHV_c + ZH - IN$$

$$ČSH = SHV_c + 0,3 \cdot IN - IN$$

$$ČSH = 14597814 + 0,3 \cdot 13370000 - 13370000$$

$$ČSH = 5238814 \text{ [Kč]}$$

Čistá současná hodnota investice 5238814 Kč je platná za předpokladu, že bude zařízení po odepsání odprodáno a příjem z tohoto prodeje bude činit 30% z investičních nákladů.

Vzhledem k tomu, že zůstatková hodnota investice v předchozím výpočtu je pouhým odhadem na základě podobnosti s obdobnými případy, je proveden následující výpočet nezohledňující zůstatkovou hodnotu investice.

$$\text{ČSH}_{0ZH} = \text{SHV}_c - \text{IN}$$

$$\text{ČSH}_{0ZH} = \text{SHV}_c - \text{IN}$$

$$\text{ČSH}_{0ZH} = 14597814 - 13370000$$

$$\text{ČSH}_{0ZH} = 1227814 \text{ [Kč]}$$

## 9.7 Shrnutí ekonomického hodnocení

Provedené ekonomické zhodnocení investice zahrnuje zjednodušení ve formě předpokladu, že se nebudou jednotlivé nákladové položky během jednotlivých let měnit. Výši nákladů ovlivňuje mnoho faktorů, které je často velmi obtížně předpokládat. Z toho důvodu je odhadování časového vývoje nákladů považováno za neúčelné a je použita jejich aktuální hodnota, s výjimkou nákupní ceny materiálu, kde se v jednotlivých letech počítá s průměrnou předpokládanou nákupní cenou materiálu, nikoliv s cenou současnou, neboť náklady na materiál značně ovlivňují konečný výsledek.

Z výsledků je zřejmé, že i v případě, nulové zůstatkové hodnoty zařízení po jeho odepsání, což je prakticky vyloučený případ, bude čistá současná hodnota investice kladná.

Efektivnost investice je tedy dobrá a lze ji doporučit k realizaci.

## 10 ZÁVĚR

Zadáním a předmětem této práce byl návrh automatizovaného pracoviště na ohýbání dílců ve společnosti Agrostroj Pelhřimov, a.s.. Požadavky na toto řešení vznikly z důvodu potřeby odstranění vysoce namáhavé práce z výrobního procesu v souladu se současnými trendy, zvýšení kvality výroby eliminací vlivu lidského činitele, zvýšení výrobních kapacit.

Za účelem nalezení řešení byly vybrány tři rozdílné variantní návrhy. Jedna varianta (ve formě pneumatického manipulátoru Dalmecc) byla zvolena z oblasti mechanizace jako nákladově méně náročná alternativa dalším dvěma variantám, které již spadají do oblasti automatizace. První z nich je robot Antil, který by byl v případě volby této varianty agregován se stávajícím ohraňovacím lisem LVD. Druhou je kompletní automatizované pracoviště na ohýbání dílců od společnosti Trumpf sestávající z ohraňovacího lisu a obsluhujícího robotu. Tyto variantní návrhy byly zhodnoceny metodou váhového hodnocení dle stupně plnění kritérií vytýčených na základě potřeb podniku. Na základě tohoto hodnocení se jako nejvýhodnější ukázala varianta kompletního automatizovaného pracoviště od společnosti Trumpf.

Následně byl na základě známého výrobního programu a pracností jednotlivých dílců proveden kapacitní propočet. Při porovnání ročního časového efektivního fondu pracoviště a potřebného časového fondu pro požadovanou výrobu bylo zjištěno využití pracoviště 92,5%, což poměrně vysoké číslo, nicméně vzhledem k poměrně vysokým investičním nákladům je žádoucí co nejvyšší využití a 7,5 procentní rezerva pro případ dočasného výpadku výroby se jeví jako dostatečná, navíc lze využít záložní noční směny, případně lze zavést pravidelnou noční směnu v části pracovního týdne.

Ekonomické zhodnocení investice bylo provedeno metodou čisté současné hodnoty investice. Do výše nákladů i objemu produkce promlouvá celá řada, často těžko předvídatelných, faktorů. Proto bylo odhadování jejich vývoje vyhodnoceno jako neúčelné a toto hodnocení bylo do jisté míry zjednodušeno předpokladem, že náklady a výrobní program včetně objemu produkce zůstanou stejné během doby odepisování, pro niž je hodnota investice hodnocena. Výpočet byl proveden pro předpokládanou zůstatkovou hodnotu investice po jejím odepsání ve výši 30% investičních nákladů, což je hodnota pro obdobná zařízení využívaná v podniku obvyklá. Za těchto předpokladů odpovídá čistá současná hodnota investice částce 5238814 Kč. V krajním případě, kdy by se předpoklad nenaplnil a zůstatková hodnota investice klesla na nulu, by byla čistá současná hodnota investice 1227814 Kč po pěti letech provozu.

Investici lze doporučit k realizaci.

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### LITERATURA

- [1] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ František, NOVOTNÝ Karel. *Technologie tváření : Plošné a objemové tváření*. 4. vyd. Brno : Akademické nakladatelství Cerm, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [2] DVOŘÁK, Milan a kol.. *Technologie II*. Brno : Akademické nakladatelství Cerm, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4
- [3] FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1 vyd. Brno : Nakladatelství VUT v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6
- [4] HLAVENKA, Bohumil. *Projektování výrobních systémů : Technologické projekty I*. 3. vyd. Brno : Akademické nakladatelství Cerm, 2005. 197 s. ISBN 80-214-2871-6
- [5] CHVÁLA Břetislav, MATIČKA Robert, TALÁCKO Jaroslav. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1990. 275 s. ISBN 80-03-00361
- [6] NĚMEČEK, Petr. *Podnikový management I*. 9. vyd. Brno : Ing.Zdeněk Novotný,CSc, 2003. 86 s. ISBN 80-86510-78-6
- [7] OPLATEK František, et al. *Automatizace a automatizační technika*, 1. vyd. Praha : Computer press, 2000. 166 s. ISBN 80-7226-249-1
- [8] RUMÍŠEK, Pavel. *Technologické projekty*. 1. vyd. Brno : Nakladatelství VUT v Brně, 1991. 185 s. ISBN 80-214-0385-3

### PŘEDNÁŠKY

- [9] KOČMANOVÁ, Alena. *Investiční řízení podniku – přednáška*. Brno : Vysoké učení technické v Brně. Fakulta podnikatelská. Ústav ekonomiky, 2009.
- [10] PROKOP, Jaroslav. *Technologická příprava výroby – přednáška*. Brno : Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, 2008.

### FIREMNÍ DOKUMENTY

- [11] *Automatizované pracoviště TRUMPF na ohýbání dílců –nabídka*. Praha : TRUMPF Praha, 2009. 9.s.
- [12] *Pneumatický manipulátor Dalmec Partner – nabídka*. Praha : Dalmec – handhabungs – manipulatoren, 2009. 16 s.

- [13] *Robot Antil APR50 – nabídka*. Brno : TECHNO TRADE CONSULT, 2009. 5 s.

### **FIREMNÍ DATABÁZE**

- [14] *Informační systém Orfert - Databáze nákladů* [firemní databáze]. Pelhřimov : Agrostroj Pelhřimov, 2009 [cit. 2009-01-03]. Dostupné na firemní počítačové síti.
- [15] *Databáze technologické dokumentace (Sysklass)* [firemní databáze]. Pelhřimov : Agrostroj Pelhřimov, 2009 [cit. 2009-01-04]. Dostupné na firemní počítačové síti.
- [20] *Výkresová dokumentace technologického projektu - Horní hala* [firemní databáze]. Pelhřimov : Ing. Karel Čermák, 2008 [cit. 2009-01-04] . Dostupné na firemní počítačové síti.

### **WWW**

- [16] *Agrostroj Pelhřimov – O firmě, historie* [online]. [cit.2009-02-02]. Dostupné z: <[www.agrostroj.cz](http://www.agrostroj.cz)>
- [17] *Antil – produkty* [online]. [cit.2009-04-03]. Dostupné z: <<http://www.antil.it/index.php?site=robot&productId=30>>
- [18] *Technická univerzita v Liberci – Technologie tváření kovů* [online]. [cit.2009-01-29]. Dostupné z: <[http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/uvod\\_do\\_strojirenstvi/UdS-5pr.pdf](http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/UdS-5pr.pdf)>
- [19] *Wikipedie, otevřená encyklopedie – Automatizace* [online]. [cit.2009-02-03]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Automatizace>>

## 12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

zkratka/symbol	jednotka	popis
$\Delta l$	[mm]	absolutní deformace
$l_0$	[mm]	délka rozměru před deformací
$l_1$	[mm]	délka rozměru po deformaci
$\varepsilon$	[-]	poměrná deformace
$R$	[%]	redukce
$\varphi$	[-]	logaritmická deformace
$R_d$	[1/s]	rychlost deformace
$\Delta Re$	[MPa]	zpevnění
$x$	[mm]	velikost posunutí neutrální plochy (NP) od původní osy průřezu
$R_o$	[mm]	poloměr ohybu
$l_o$	[mm]	délka ohnutého úseku v neutr.ploše
$\rho$	[mm]	poloměr neutrální plochy
$\gamma$	[°]	úhel ohnutého úseku( $\gamma=180^\circ \alpha$ )
$\alpha$	[°]	úhel ohybu
$z_z = s_1 / s$	[-]	součinitel ztenčení
$z_r = b_1 / b$	[-]	součinitel rozšíření původního průřezu
$b$	[mm]	šířka výchozího materiálu
$s$	[mm]	tloušťka výchozího materiálu
$b_1$	[mm]	šířka materiálu po ohnutí
$s_1$	[mm]	tloušťka materiálu po ohnutí
$l_c$	[mm]	celková rozvinutá délka polotovaru
$l_{pi}$	[mm]	délka přímých úseků dílce
$l_{oi}$	[mm]	délka ohnutých úseků dílce
$R_{min}$	[mm]	minimální poloměr ohybu
$R_{max}$	[mm]	maximální poloměr ohybu
$E$	[MPa]	modul pružnosti v tahu
$R_e$	[MPa]	střední mez kluzu materiálu
$\beta$	[°]	úhel odpružení
$l_v$	[mm]	vzdálenost mezi opěrami ohybnice
$k$	[-]	součinitel určující polohu neutrální plochy
$v$	[mm]	vůle mezi ohybníkem a ohybnicí
$F_O$	[N]	teoretická ohýbací síla
$F_K$	[N]	kalibrovací síla
$S$	[mm <sup>2</sup> ]	kalibrovaná plocha polotovaru v průmětu kolmém na pohyb ohybníku
$p$	[MPa]	měrný tlak pro kalibrování
$F_{oc}$	[N]	celková ohýbací síla při ohýbání s kalibrací zohledňující tření
$A_o$	[J]	ohýbací práce



zkratka/symbol	jednotka	popis
$m^*$	[-]	opravný koeficient respektující průběh ohýbací síly
$h$	[mm]	pracovní zdvih ohýbadla
$v_o$	[mm]	ohýbací vůle
$F_{ef}$	[h]	roční časový efektivní fond
$F_{po}$	[h]	potřebný roční časový fond
$n_p$	[ks]	počet potřebných pracovišť
$n_z$	[ks]	zvolený počet pracovišť
$\eta$	[%]	využití pracoviště
$t_k$	[Nmin/ks]	čas kusový (pracnost)
$t_{ac}$	[Nmin/ks]	čas jednotkový s přírážkou času směnového
$T_{Bc}$	[Nmin]	čas dávkový s přírážkou času směnového
$d$	[ks]	velikost výrobní dávky
$SHV_t$	[Kč]	současná hodnota výnosu v roce $t$
$SHV_c$	[Kč]	celková souč. hodnota v letech 1-n
$V_t$	[Kč]	očekávaný roční výnos investice
$K$	[%]	sazba kapitálových nákladů
$ROI$	[-]	výnosnost investice
$Z_R$	[Kč]	průměrný roční zisk plynoucí z inv.
$IN$	[Kč]	investiční náklady
$DS$	[rok]	doba splácení
$CF_R$	[Kč]	roční cash flow
$\check{C}SH$	[Kč]	čistá současná hodnota investice
$ZH$	[Kč]	zůstatková hodnota investice

## 13 SEZNAM PŘÍLOH

- |            |   |
|------------|---|
| Příloha 1  | kopie výkresu dílce “zadní stěna“   |
| Příloha 2  | kopie výkresu dílce “nosník baterie“  |
| Příloha 3  | kopie výkresu dílce “příčný nosník zadní“   |
| Příloha 4  | kopie výkresu dílce “nosník přední“   |
| Příloha 5  | kopie výkresu dílce “příčník I“   |
| Příloha 6  | kopie výkresu dílce “příčník II“  |
| Příloha 7  | kopie výkresu dílce “příčník – závěs vleku“   |
| Příloha 8  | kopie výkresu dílce “plášť “  |
| Příloha 9  | výkresová dokumentace materiálového toku souvisejícího s výrobou na automatizovaném pracovišti Trumpf |
| Příloha 10 | orientační výkres půdorysu současného pracoviště  |
| Příloha 11 | orientační výkres půdorysu navrženého pracoviště  |
| Příloha 12 | orientační technologické postupy jednotlivých dílců   |